

### 第三节 盘磨机械浆

50年代初期在用盘磨机处理磨石磨木浆筛渣的基础上发展成一种将木片在盘磨机中直接磨碎成浆的新的机械制浆方法，称为盘磨机械浆（RMP），又称木片磨木浆（CRP）。这种机械木浆强度比传统的磨石磨木浆大，可以使用不规则木材、枝桠材和锯材厂废木料，甚至锯末制浆，扩大了原料来源，加以生产是连续性的，容易得到控制，因此很快获得推广，但是这种盘磨机械浆纤维挺硬，含有很大纤维束和碎片，抄成的纸表面粗糙，印刷性能差，除了用以生产新闻纸外，用途很窄。

60年代初，为了提高盘磨机械浆的强度，减少纤维束和碎片含量，在木片进盘磨机之前先经短时间汽蒸使之软化，发展成为预热机械浆（TMP）。

预热机械浆的出现代表着盘磨机械浆技术的重大进步。它长纤维组分高，强度大，用以生产新闻纸可大大降低化学浆配比，事实上，已有许多工厂以100%预热机械浆生产新闻纸，基本上取代了盘磨机械浆的地位。

然而预热机械浆也有它的局限性。为了获得满意的质量，它要磨到较低的游离度，而且由于大量抽出物的存在，致使它在包括绒毛浆、卫生纸等许多产品领域的应用受到限制。此外，预热机械浆白度低，又难以漂白，因此主要用途仍局限在新闻纸方面。

70年代又在此基础上引进了化学预处理工艺，发展成化学预热机械浆（CTMP）。化学预处理大大改变了机械浆的性质，扩大了适用范围，使过去不适于生产机械浆的许多硬木也能用来制浆造纸。而且根据原料性质和所要生产的产品特征，对化学预处理过程作了各种各样的变化，而发展成为名目繁多的新的制浆方

法。

## 一、盘磨机械浆的工艺及过程

### (一) 盘磨机械浆 (RMP)

盘磨机械浆的典型流程如图 7-3-1。

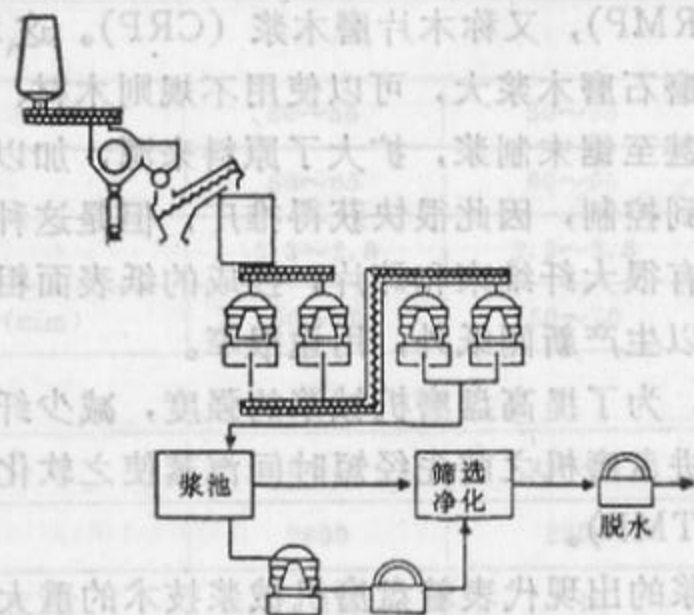


图 7-3-1 典型RMP流程

本片经洗涤去除泥沙、石子、铁块等杂质后，由螺旋喂料器定量地喂入盘磨机中磨成浆。使用南方松的工厂，由于木材中含有带色有毒物质和树脂等，在磨浆之前先用螺旋挤压机挤压，使之部分去除。

标准盘磨机械浆是在常压下磨浆的。为了提高磨浆效果，有的工厂将盘磨机前后加以密封，进行压力磨浆，称为PRMP。

磨出的浆经消潜池消潜后，送筛选。粗渣用单独盘磨机或返回系统再磨。

### (二) 预热机械浆 (TMP)

预热机械浆是在盘磨机械浆的基础上在磨浆之前将木片先经

预汽蒸，而且第一段磨浆是在高温和压力下进行的。第二段可以是常压，也可以是在压力下磨浆。两段都是压力磨浆的预热机械浆系统又称 PPTMP。

最初，预热机械浆系统的第一段是在压力 0.17MPa，温度 130℃ 下磨浆的。进一步提高磨浆压力和温度则强度下降，生产出的浆不适于造纸。然而，最近的发展表明只要降低预汽蒸温度和压力，是可以在盘磨机中用较高的压力和温度磨出适合于造纸的浆料。这对于从预热机械浆系统中回收可供纸机烘缸用的较高压力的蒸汽有很大意义，使预热机械浆的实际电耗可降至磨石磨木浆的水平。现在热回收已成为预热机械浆系统的重要组成部分。

典型预热机械浆系统的流程如图 7-3-2 所示。

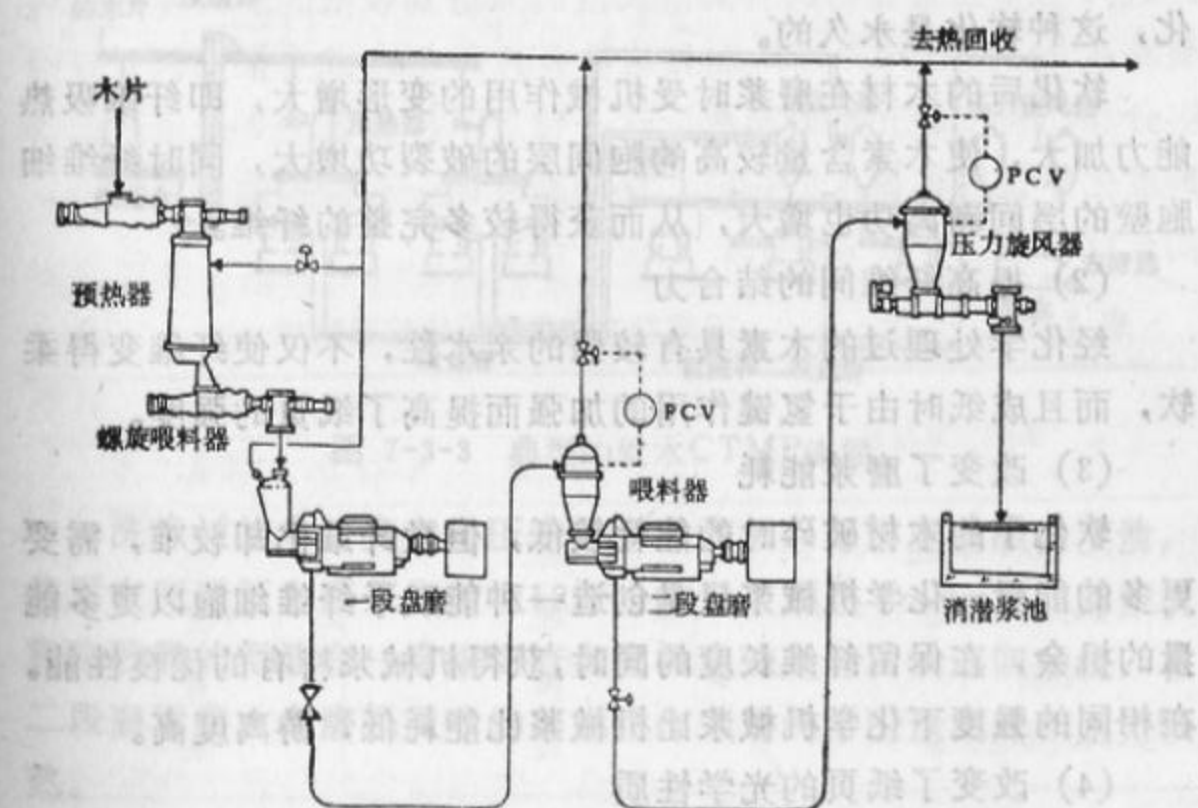


图 7-3-2 典型TMP系统

### (三) 化学预热机械浆 (CTMP)

化学预热机械浆是将化学处理引进盘磨机械浆而得到的一种



新的制浆方法。由于它可以采用不同化学药品,通过各种处理方式,以适应不同原料来制取用途广泛的纸浆,因此近十年有很大发展。

化学预热机械制浆过程中化学处理的目的是在尽可能保留木素的基础上改变木素的性质,使磨浆后的浆料获得比机械浆更优良的性质。

### 1. 化学处理的主要作用

#### (1) 软化木材

木片预热和热磨对木材的软化是暂时的,冷却后纤维又变得挺硬,而化学处理通过化学药品与木素的化学反应引入化学基团,赋予亲水性,能吸取大量的水分,使木素间的氢键作用减弱而软化,这种软化是永久的。

软化后的木材在磨浆时受机械作用的变形增大,即纤维吸热能力加大,使木素含量较高的胞间层的破裂功增大,同时纤维细胞壁的层间剥离功也增大,从而获得较多完整的纤维。

#### (2) 提高纤维间的结合力

经化学处理过的木素具有较强的亲水性,不仅使纤维变得柔软,而且成纸时由于氢键作用的加强而提高了纸页的强度。

#### (3) 改变了磨浆能耗

软化了的木材破碎时的能耗较低,但微纤维化却较难,需要更多的能量。化学机械浆只是创造一种能赋予纤维细胞以更多能量的机会,在保留纤维长度的同时,获得机械浆特有的优良性能。在相同的强度下化学机械浆比机械浆比能耗低,游离度高。

#### (4) 改变了纸页的光学性质

化学处理会使木素的生色基团发生变化,通常导致白度下降。但经亚硫酸钠处理对白度的影响较小。在温和条件下处理时白度甚至还可以提高3~5度。但任何化学处理都导致不透明度下降。

在化学机械浆发展过程中曾研究了许多种化学药品和处理方法。用于处理木片的化学药品有亚硫酸钠、亚硫酸氢钠和氢氧化

钠,用于处理磨过的浆料的还有二氧化氯、过氧化氢、氯气、臭氧等。但实际使用中以磺化处理木片或粗浆效果最好。硬木除了磺化外还有用冷碱法的。

磺化方法可分为三种:

- ① 预处理,即磨浆前对木片进行磺化。
- ② 中间处理,即对两段磨浆之间的浆料进行磺化。
- ③ 后处理,即对磨过的浆进行磺化。

### 2. 针叶木 CTMP

典型的针叶木化学预热机械浆系统见图7-3-3。

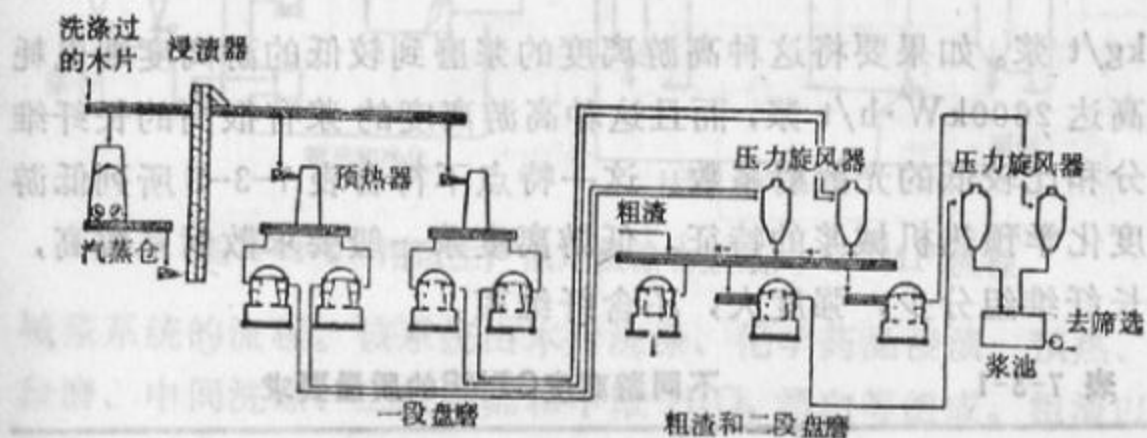


图 7-3-3 典型的软木CTMP流程

洗涤过的木片先在常压木片仓中汽蒸,再用亚硫酸钠浸渍,然后在两段压力磨浆之前在125~130℃下预热2~3min。筛浆机和除砂器的粗渣在一常压粗渣盘磨机单独处理,或返回系统,在二段磨再磨。盘磨机反喷的蒸汽用作木片的常压预汽蒸和压力预热。

随浆料出来的蒸汽含有纤维和不凝气体,经压力旋风分离器分离出纤维后在再沸器中回收具有一定压力的洁净蒸汽,通常供纸机干燥部使用。

生产高游离度的化学预热机械浆可用一段磨浆,其流程见图7-3-4。包括浸渍、常压汽蒸、压力预热和磨浆。 $\text{Na}_2\text{SO}_3$ 用量约



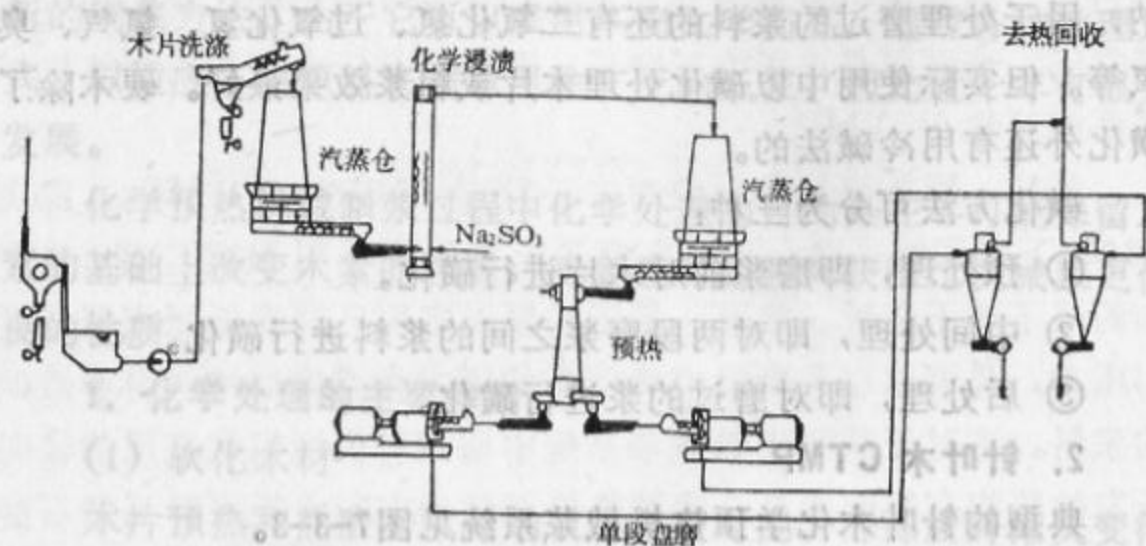


图 7-3-4 高游离度CTMP

25kg/t 浆。如果要将这种高游离度的浆磨到较低的游离度则电耗要高达 2600kW·h/t 浆, 而且这种高游离度的浆有很高的长纤维组分和比较低的光散射系数。这一特点不符合表 7-3-1 所列低游离度化学预热机械浆的特征。低游离度浆一般要求散射系数高, 而长纤维组分少, 强度大, 不含纤维束。

表 7-3-1 不同游离度CTMP的质量要求

纸浆质量指标	游离度	
	低	高
光散射系数	高	低
长纤维含量	低	高
强度	高	低
纤维束含量	低	高

为了达到这些要求, 应对流程作某些修改。首先可以取消用以提高长纤维含量的汽蒸仓, 其次可降低亚硫酸钠用量至 10kg/t 浆, 在磨盘设计, 磨浆、筛选、净化和粗渣处理的条件也都必须按低游离度浆的要求予以考虑。

图 7-3-5 为比利时一家生产低定量涂布原纸用的化学预热机

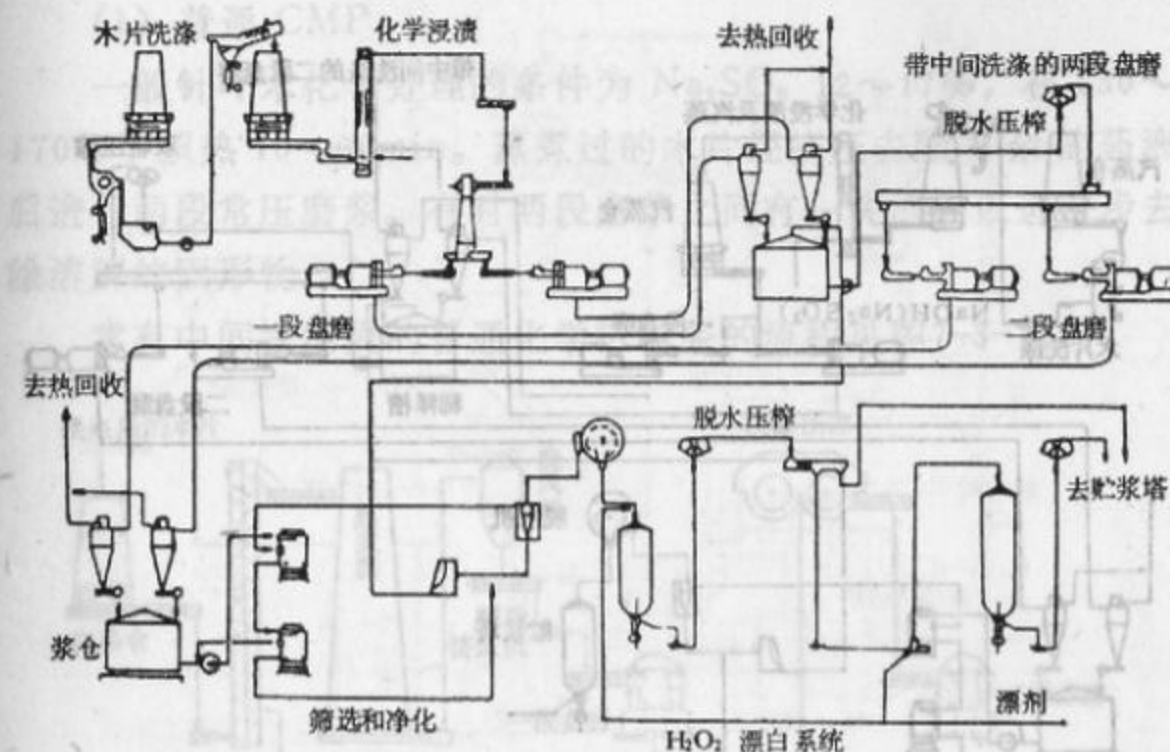


图 7-3-5 用以生产低定量涂布原纸的 CTMP 流程

械浆系统的流程。该系统由木片洗涤、化学药品浸渍、预热、一段磨、中间洗涤、二段磨筛和中浓  $H_2O_2$  漂白等组成。粗渣以低浓和一段磨后的浆混合, 在二段磨再磨。

### 3. 阔叶木 CTMP

一般说来由于纤维形态和物理性质的不同, 阔叶木不适于用针叶木的方法制取机械浆。除了一些密度较低的材种, 如杨木外, 生产出的机械浆用途有限, 因此必须先经化学处理。

化学浸渍通常是在强碱性条件下进行的, 以便纤维壁润涨使之更适合于随后的盘磨处理。化学浸渍之后通常是在常压下预热的, 以防止纤维在碱性条件下颜色变暗, 同时降低比能耗。化学浸渍降低了木素的软化温度, 因此在进入盘磨机时, 保持较低的木片温度, 以便在纤维壁处破裂, 这是非常重要的。

图 7-3-6 为一般硬木化学预热机械浆流程。一般预热温度不超过 100℃, 而且两段磨浆之间加一洗涤, 去除抽出物, 以利漂白



反应。

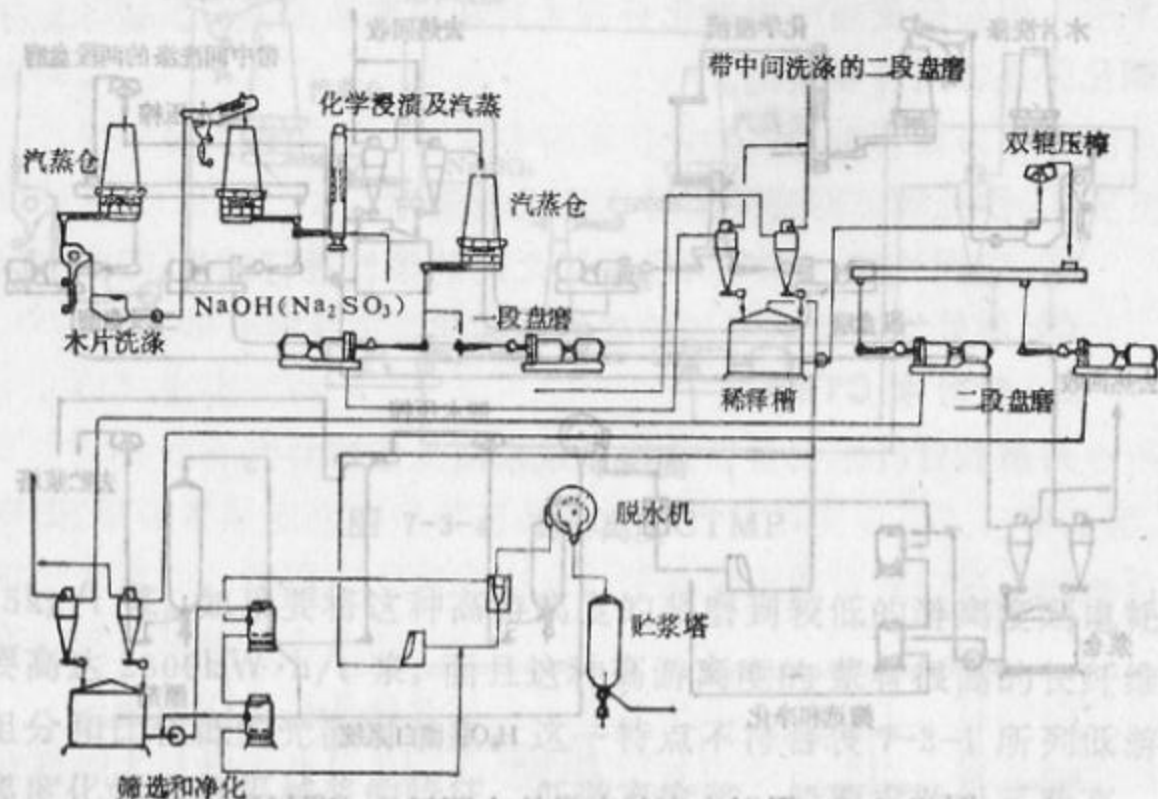
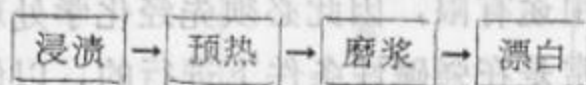


图 7-3-6 常有中间洗涤的硬木CTMP系统

#### (四) 化学机械浆 (CMP)

化学机械浆与化学预热机械浆的区别只是木片或浆料经受较剧烈的化学处理，得率较低而已，两者之间没有明显的界限。

典型化学机械浆的制浆条件如下：



针叶木	12~20% Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	10~60min	压力或 常压	10~30kg H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /t浆
阔叶木	10~15% Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	10~60min	压力或 常压	10~30kg H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /t浆
		130~160℃		

#### 1. 针叶木 CMP

##### (1) 普通 CMP

一般针叶木化学处理的条件为 Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> 12~17%，在 130~170℃ 下预热 10~60min。蒸煮过的木片经挤压去除多余的药液后进行两段常压磨浆。有时两段磨浆之间有一洗涤段以进一步去除溶解的固形物。

常有中间洗涤段的普通化学机械浆的流程见图 7-3-7。

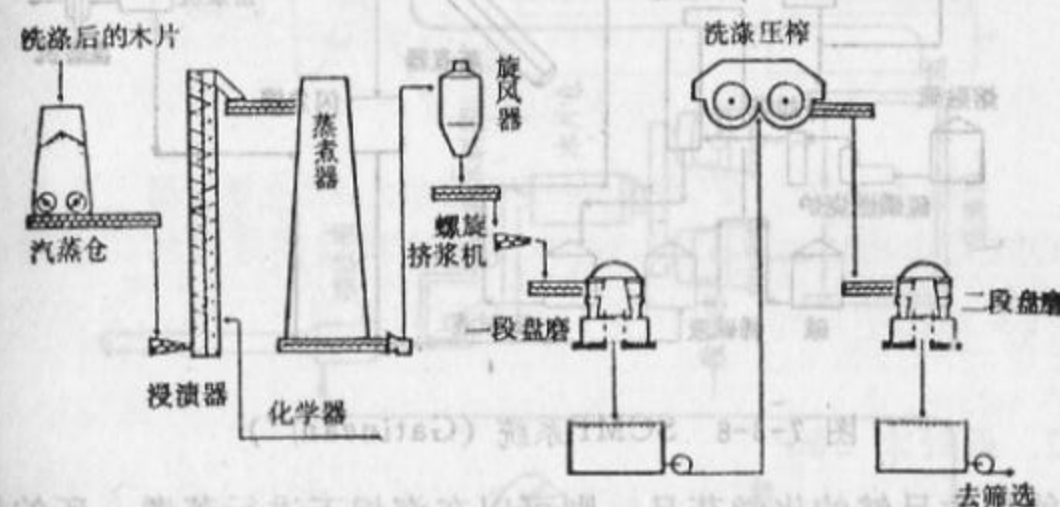


图 7-3-7 常有中间洗涤段的普通CMP系统

##### (2) 磺化机械浆 (SCMP)

这是加拿大国际造纸公司 (CIP) 提出的方法。目的在于制取纤维较长、游离度较高、强度较大的化学机械浆，以代替硫酸盐浆配抄新闻纸。

木片经洗涤、预汽蒸和浸渍后在 Bauer M&D 斜管连续蒸煮器中用 12% Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> 在 140℃ 下蒸煮 30min。然后挤压至干度 50%，用两段常压盘磨机磨至游离度 300~400mL csf。挤压出的废液经补充碱并吸收二氧化硫后在系统中循环使用，其流程见图 7-3-8。

实践表明在生产新闻纸时，要取代 25% 亚硫酸氢盐高得率浆，需要用 35% 的这种 SCMP 浆，而且游离度不得高于 325 csf，然而这么低的游离度使纸机脱水困难。进一步的研究表明，只要

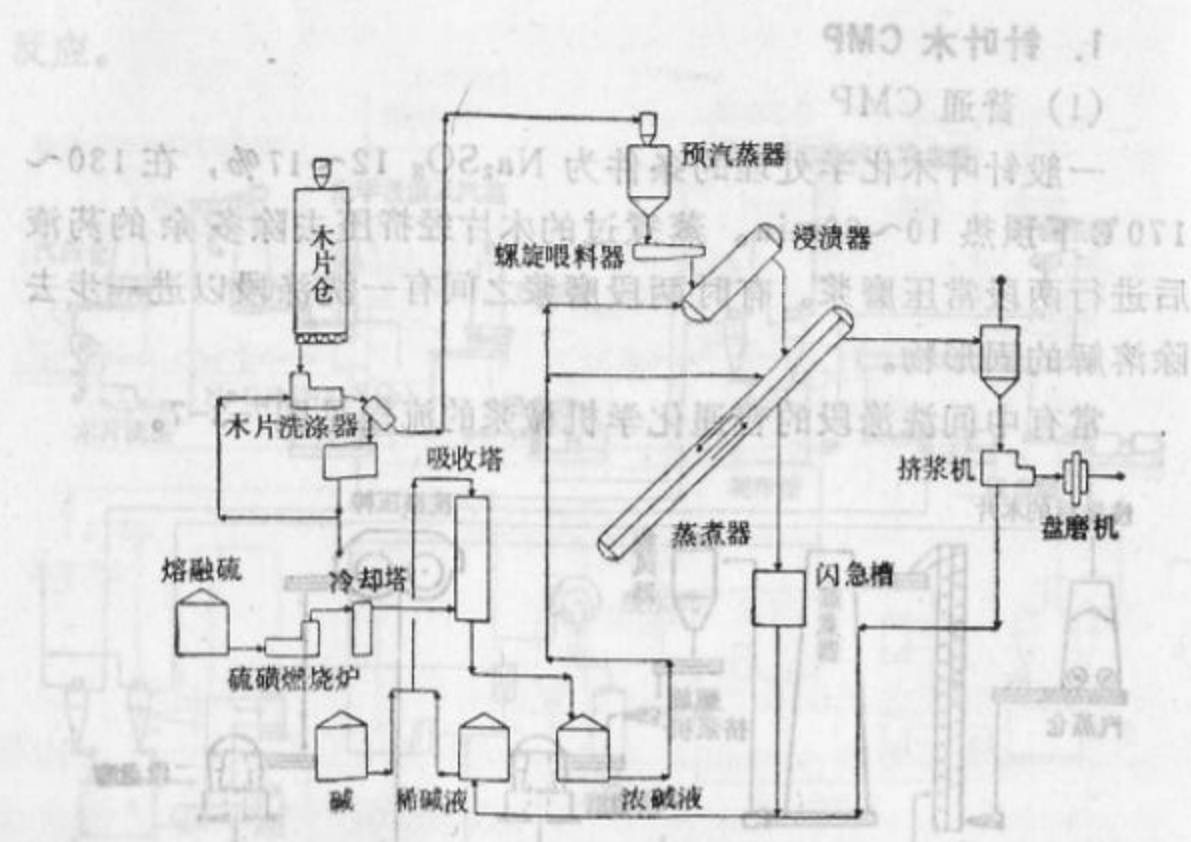


图 7-3-8 SCMP系统 (Gatineau厂)

木片能吸收足够的化学药品，则可以在汽相下进行蒸煮，所得浆白度较高，而且可以在较高的游离度下获得所希望的强度。

### (3) 亚硫酸氢盐法化学机械浆—BCMP

这是 Abitibi-Price 造纸公司 Chandler 纸厂首先采用的亚硫酸氢盐汽相蒸煮的化学机械浆系统。

预汽蒸过的木片在 Bauer M&D 斜管连续蒸煮器内进行汽相蒸煮，浸渍时间最长 10min、汽相蒸煮温度 168℃，最长时间 52min。蒸煮液主要是亚硫酸氢盐，pH 5.8~6.0。

煮过的木片采用冷喷放，经斜筛分离出残余蒸煮废液后进行二段常压磨浆，见图 7-3-9。

### (4) OPCO 系统

这是加拿大 Ontario 造纸公司为完全取代新闻纸化浆配比而发展的一种超高得率制浆方法，它以 7~10% 的  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ，在 130~180℃ 温度下处理浓度 10% 以上的浆料 15~120min，这种化学处

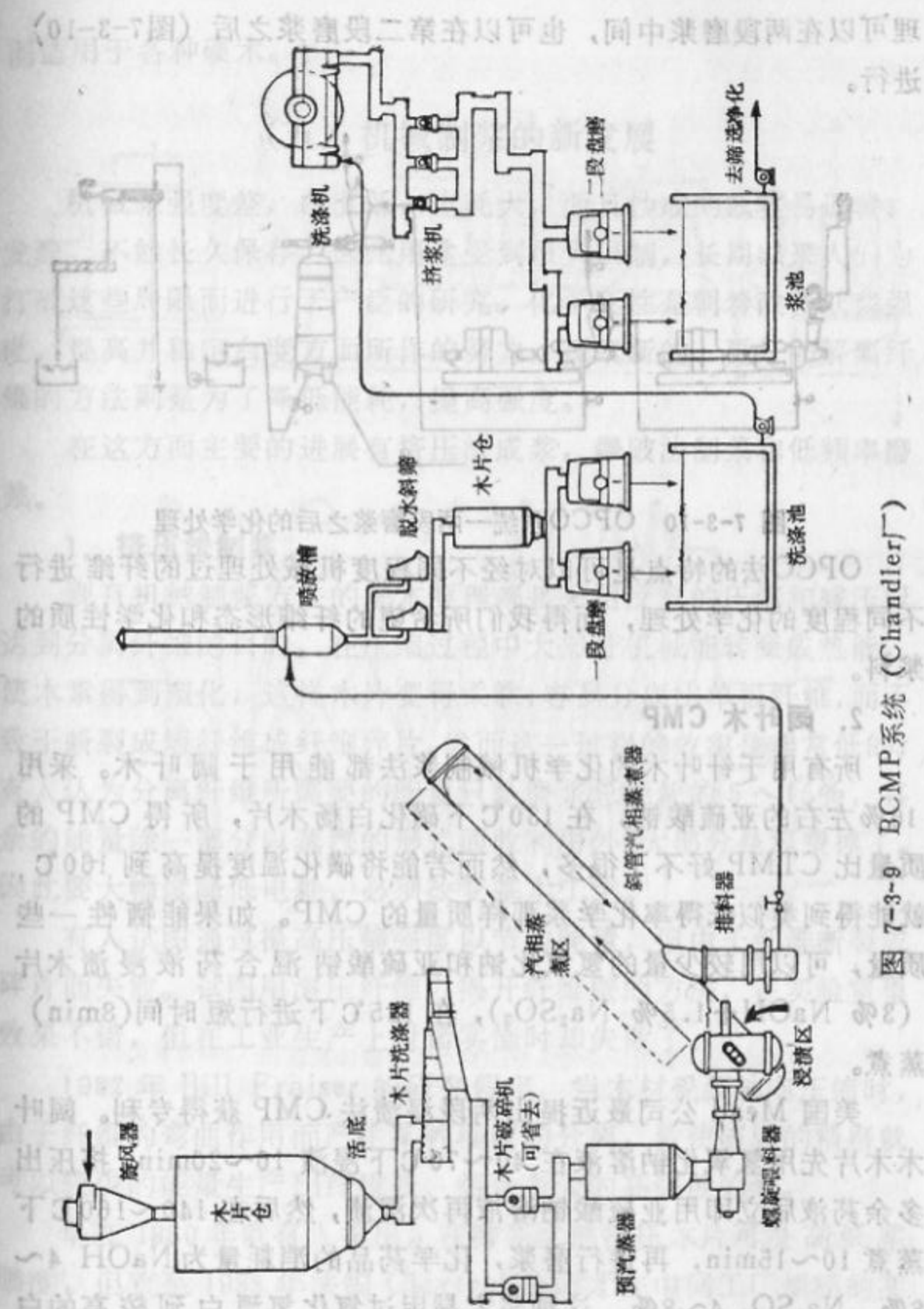


图 7-3-9 BCMP系统 (Chandler厂)



理可以在两段磨浆中间,也可以在第二段磨浆之后(图7-3-10)进行。

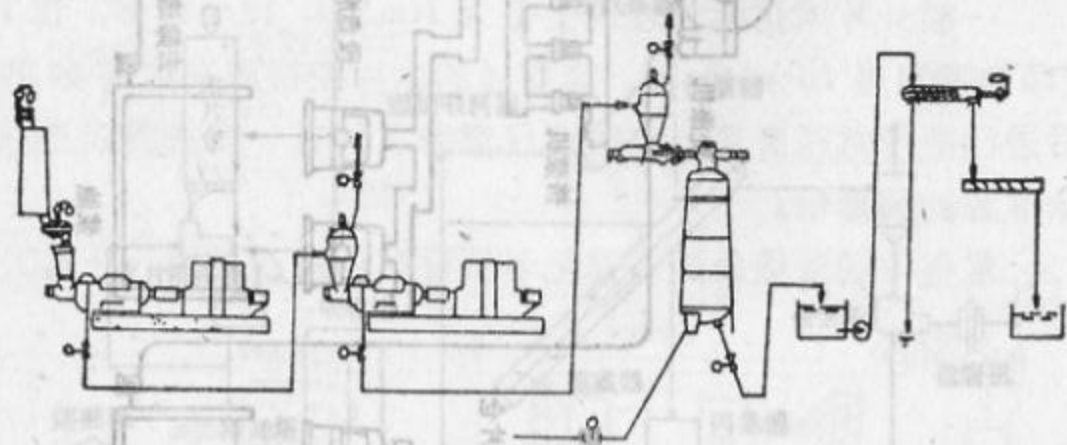


图 7-3-10 OPCO系统—两段磨浆之后的化学处理

OPCO法的特点是可以对经不同程度机械处理过的纤维进行不同程度的化学处理,而得我们所希望的纤维形态和化学性质的浆料。

## 2. 阔叶木 CMP

所有用于针叶木的化学机械制浆法都能用于阔叶木。采用16%左右的亚硫酸钠,在130℃下磺化白杨木片,所得CMP的质量比CTMP好不了很多,然而若能将磺化温度提高到160℃,就能得到类似低得率化学浆那样质量的CMP。如果能牺牲一些质量,可以用较少量的氢氧化钠和亚硫酸钠混合药液浸渍木片(3% NaOH+1.5% Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>),在125℃下进行短时间(8min)蒸煮。

美国 Mead 公司最近提出两段浸渍法 CMP 获得专利。阔叶木木片先用氢氧化钠溶液在40~70℃下浸渍10~20min,挤压出多余药液后立即用亚硫酸钠溶液再次浸渍,然后在140~160℃下蒸煮10~15min,再进行磨浆,化学药品的消耗量为NaOH 4~8%, Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> 4~8%。这种浆容易用过氧化氢漂白到较高的白度。

这种方法能使结构紧密、细胞壁厚的硬木得到充分的润胀,因

而适用于各种硬木。

## (五) 机械制浆的新发展

机械浆强度差,白度低,电耗大,而且抄成的纸容易返黄、发脆,不能长久保存,因此用途受到很大限制,长期以来人们为打破这些局限而进行了广泛的研究。化学变性是朝着改善纸浆强度、提高并稳定白度方面所作的努力;探索新的、更好的解离纤维的方法则是为了降低能耗,提高强度。

在这方面主要的进展有挤压法成浆,爆破法制浆和低频率磨浆。

### 1. 挤压法制浆

现有机械制浆方法的基本原理都是采用反复的压缩和减压以达到分离纤维的目的。在压缩过程中大部分机械能转变成热能,使木素得到塑化,这样木片变得柔软,容易分离出单根纤维,而不致于断裂成短纤维或纤维碎片。然而这一过程的效率是非常低的,有人认为分离纤维所需要的能量只是磨浆总能耗的5~15%,其余的能量除一部分以蒸汽的形式回收利用外,大部分是浪费掉了。因此要大幅度降低电耗,必须改变基本工艺。

有人试图通过提高压缩强度以节约能量,但由于纤维断裂成碎片而失败。试图用滚压纤维以揭开纤维壁的方法,在实验室里效果不错,但在工业生产上付诸实施时却失败了。

1982年 Bill Fraiser 的研究假定,当木材受到轴向压缩时,由于纤维的弯曲作用而产生某种程度的分离,致使随后的精磨就可以较少的能量生产出纤维长、结合力大的高强度的浆。

早在1960年就有人指出,在磨浆之前挤压木片可提高纸浆强度,但直至1983年法国 Clextal 公司才在中间工厂规模的实验中表明采用一种称为 Bi-VIS 的挤压机磨浆,效果良好。

Bi-VIS 挤压机由二个以同一方向,同一速度旋转的水平螺旋组成,如图7-3-11所示。两螺旋的叶片相互啮合,用两端敞开的



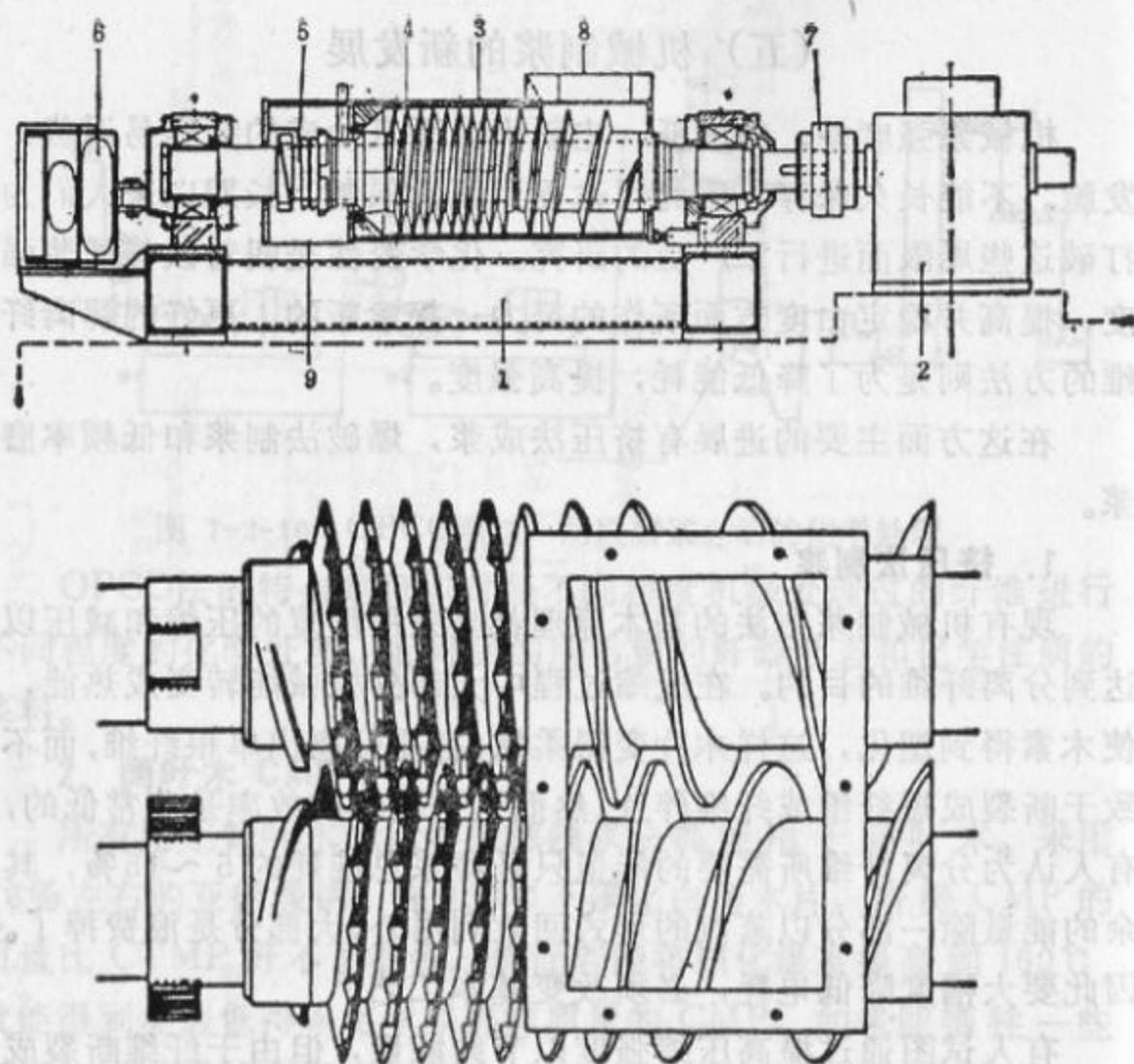


图 7-3-11 Clextral公司的Bi-VIS挤压机

1—底座 2—带有一个输入轴和两个输出轴的减速箱 3—可拆卸的外壳 4—由喂料螺旋和挤压螺旋组成的轴装配 5—轴 6—由轴向移动的波纹管组成的加压机构 7—挠性联轴器 8—入口 9—出口

外壳罩住，从一端喂入木片，另一端排出磨好的浆料。螺旋的节距不同，以限定改变挤压强度的连续区。开始节距大使物料向前移动，然后节距缩小，造成挤压作用。下一区称“制动区” (braking zone)，这里螺旋方向相反。整根螺旋分成若干制动区。

当物料向前推进到制动区时，螺旋逐渐填满，产生很大的挤压、剪切以及混合作用。螺旋叶片上有条缝，可让磨细了的浆料

通过，而粗大的纤维束仍留在那里继续受到挤压。这样充分纤维化的高浓度机械浆就从螺旋的另一端挤了出来。螺旋叶片上条缝的大小和数量影响着物料的密度，对浆料的能量吸收也有很大影响。

用这一方法生产出的机械浆外观上很像 TMP 系统第一段压力盘磨机磨出来的浆料，但纤维分离的更好，纤维束含量比传统 TMP 少 30%。

挤压机是利用挤压和剪切作用使木材纤维化并分裂纤维壁的。这些力可以产生足够的热以塑化木素，从而分离纤维而不产生碎片。然而，温度却大大低于木素的玻璃化点。结果，纤维不在胞间层分离，而是在  $S_1/S_2$  层破裂。

在原型的挤压机进行的试验表明，这一方法能节约磨浆能耗 30%，而不损害纸浆性质。用挤压机生产机械浆或许正是人们长期以来所追求的技术上的重大突破。

目前 Bi-VIS 挤压机有两种型号：KRO 102 和 KRO 200。其主要技术特征如下：

	KRO 102	KRO 200
能力 (kg 浆/h)	400	3000
马达功率 (kW)	135	1000
转速 (r/min)	0~320	0~320

## 2. 爆破法制浆

得率 90% 以上的化学机械浆 (CMP) 或化学热磨机械浆 (CTMP)，综合了机械浆和热磨机械浆得率高，成本低，污染少等优点，而且强度也相当高，是一种用途非常广的浆，其主要缺点是磨浆电耗高，这是由于纤维结晶区得不到充分软化的缘故。

获得高得率纸浆的另一途径是将木片在高压蒸煮后突然减压，进行爆炸解离，称为爆破法制浆。

爆破法制浆的概念是 Mason 1920 年创立的，他将木片在压力高达 7MPa 的蒸汽中处理 2min 后，突然减压，然后用盘磨机磨成浆。当时这种浆强度低、颜色暗，只适合于生产纤维板，因



此很长一段时间得不到发展。

近来加拿大 Kokta 等人在爆破法制浆中引入化学预浸渍段, 用杨木制得得率 90% 以上, 白度 52~58%, 强度类似于 TMP, 但磨浆电耗低得多的适于造纸的浆, 受到造纸界的重视, 认为它将成为 CTMP 的强有力的竞争者。现在爆破法制浆正在加拿大魁北克大学制浆造纸研究中心进行深入研究, 并得到加拿大政府和一些公司的资助。

在实验室条件下, 将杨木木片用 8%  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  (有时另加 1%  $\text{NaOH}$ ), 在液比 3, 温度 60℃ 下浸渍 24h, 然后在 190℃ 下蒸煮 4min 后立即全压喷放, 以后的磨浆和漂白条件和 CTMP 相近。

试验结果表明, 要获得适合于造纸的爆破法纸浆, 要在不产生水解和氧化降解而降低纸浆白度和得率的前提下, 适当延长蒸汽蒸煮时间, 以软化木片。

图 7-3-12 至图 7-3-21 说明浸渍时间、蒸汽蒸煮时间以及所

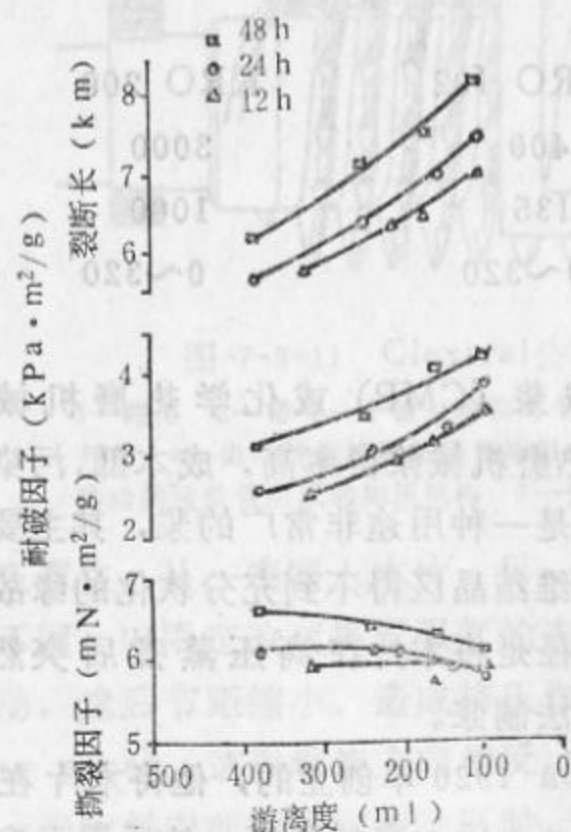


图 7-3-12 浸渍时间对纸张性质的影响

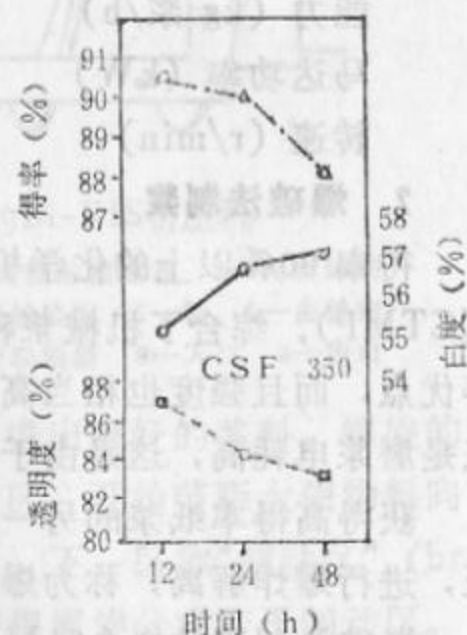


图 7-3-13 浸渍时间对制浆得率和纸张光学性能的影响

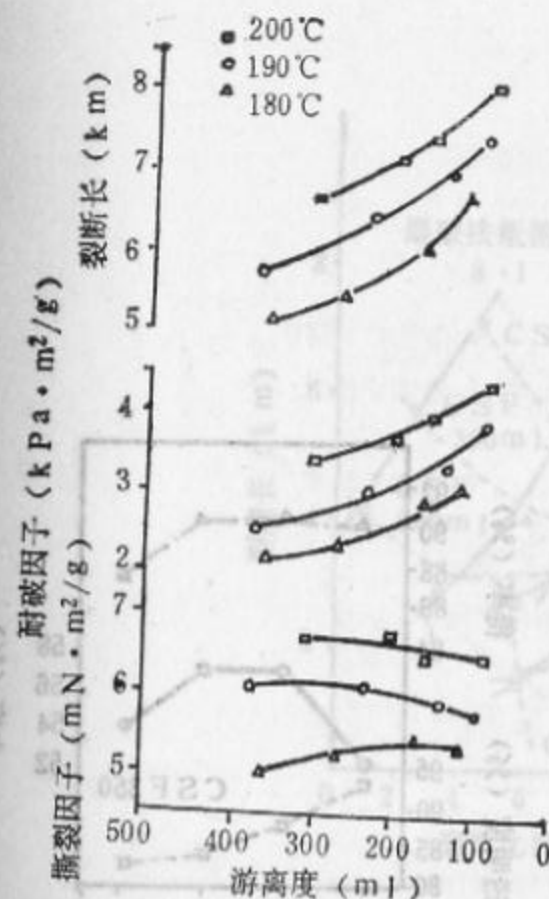


图 7-3-14 蒸煮温度对纸张强度的影响

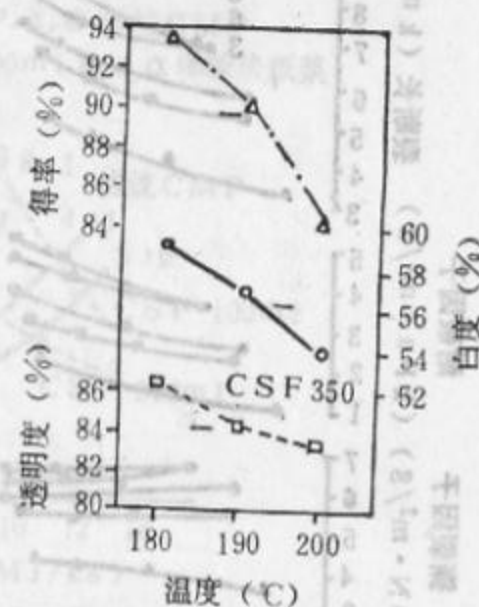


图 7-3-15 蒸煮温度对制浆得率和纸张光学性能的影响

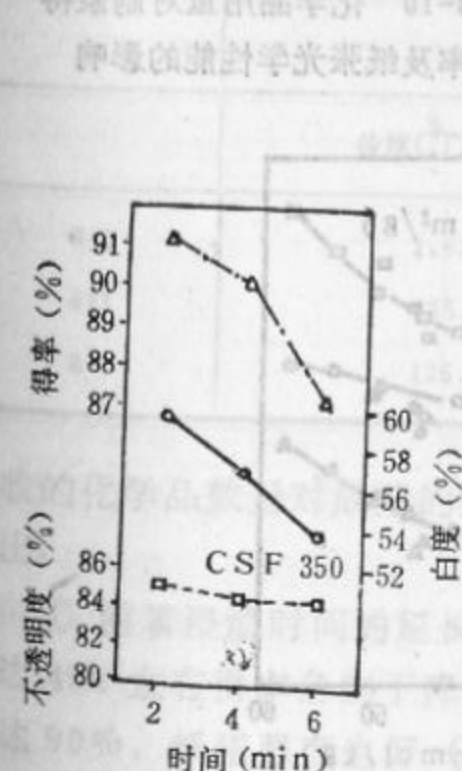


图 7-3-16 蒸煮时间对制浆得率和纸张光学性能的影响

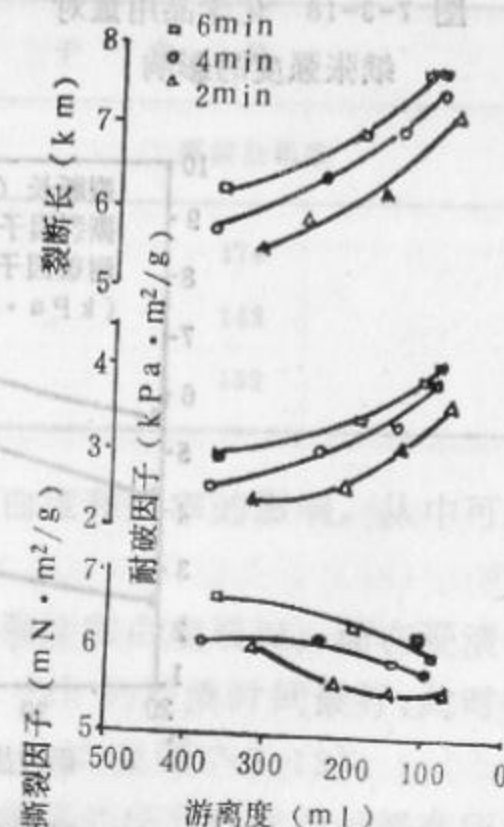


图 7-3-17 蒸煮时间对纸张强度的影响

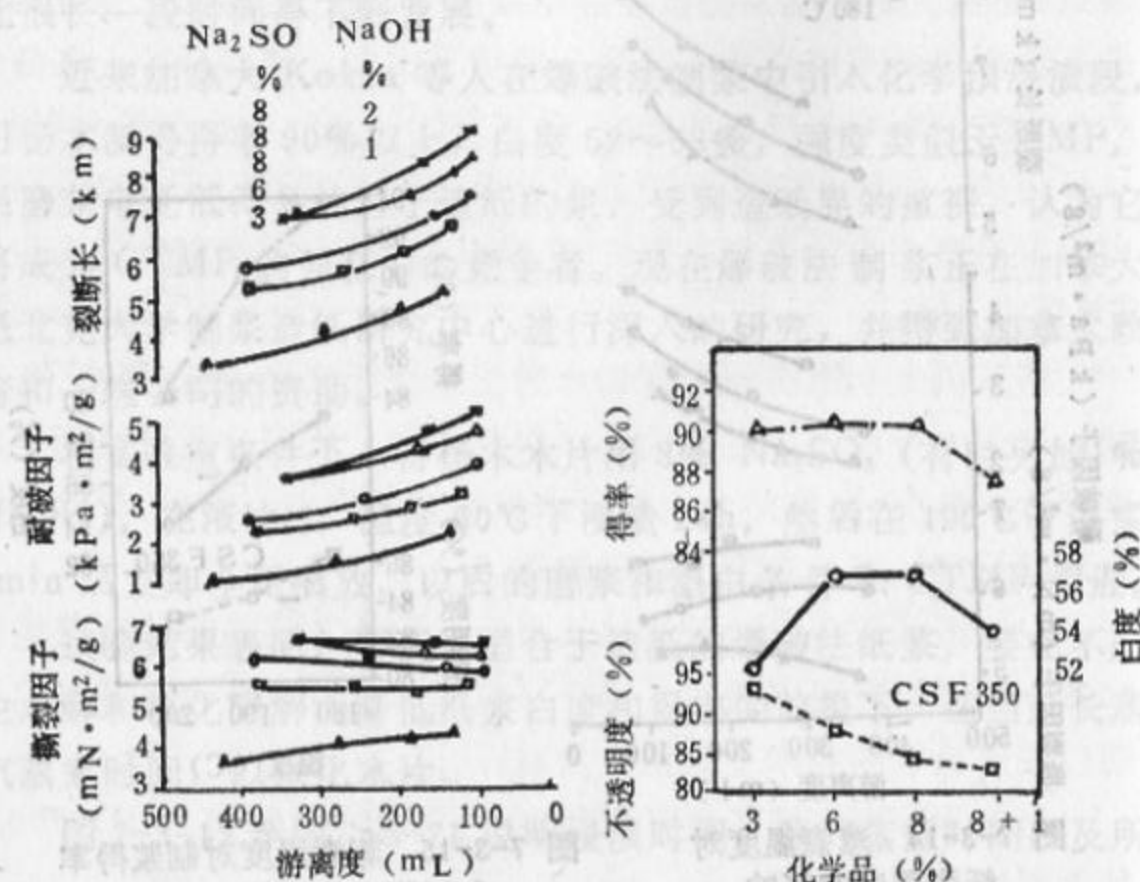


图 7-3-18 化学品用量对纸张强度的影响

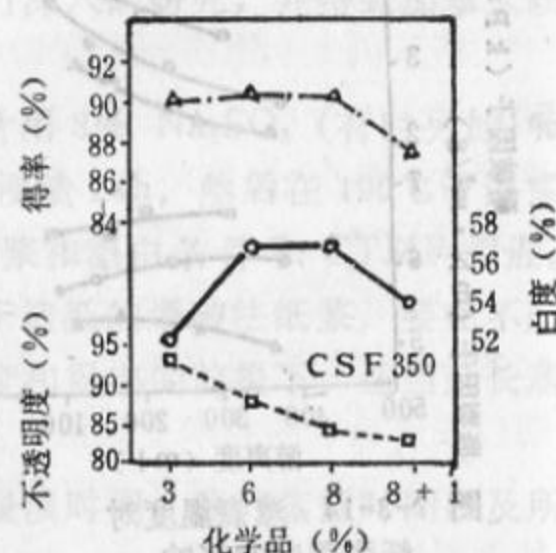


图 7-3-19 化学品用量对制浆得率及纸张光学性能的影响

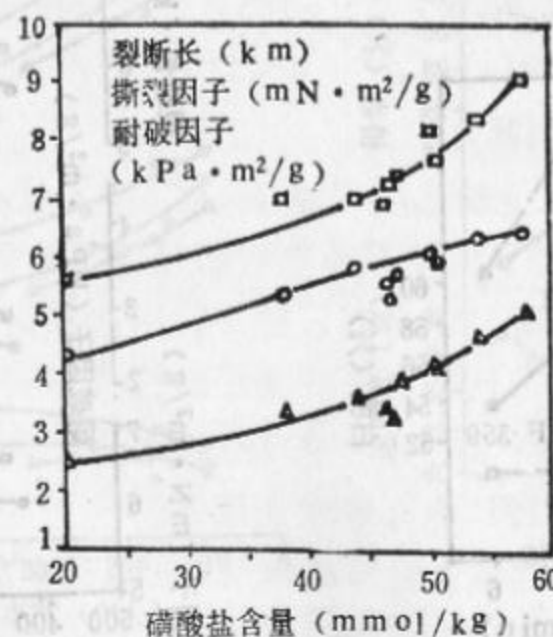


图 7-3-20 磷酸盐含量对纸张强度的影响

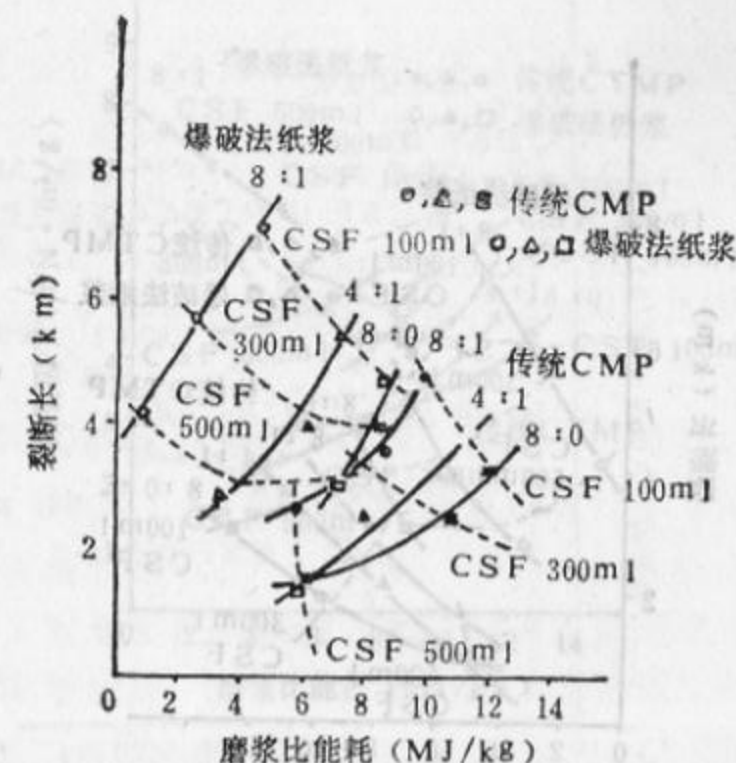


图 7-3-21 爆破法制浆和CTMP磨浆电耗与裂断长的关系(得率92%)

	离子含量	
	传统CTMP	爆破法纸浆
8:1	1.62	174
4:1	135.5	143
8:0	125.5	153

吸收的化学品数量对成浆的强度、白度和得率的影响,从中可以看出:

① 随着浸渍时间的延长,纸张强度和白度增加,而在浸渍时间达 48h 左右得率急剧下降,似乎 24h 的浸渍时间最好,此时得率达 90%,纸张强度也好(见图 7-3-12 及图 7-3-13)。

② 随着蒸汽蒸煮温度的提高,纸张的所有强度指标都有所提



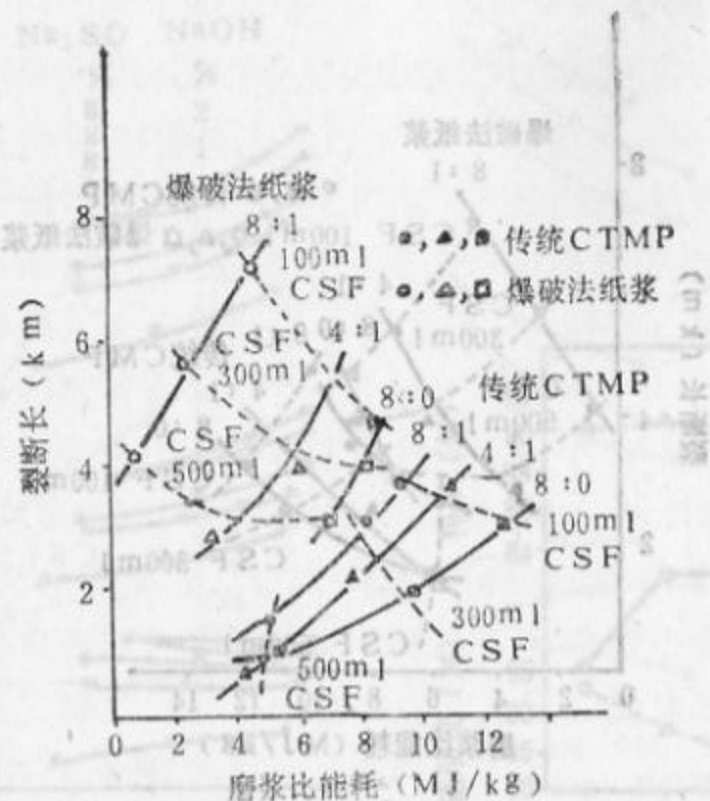


图 7-3-22 爆破法制浆与CMP磨浆电耗与裂断长的关系(爆破法浆得率92% CMP得率89.5%)

离子含量		离子含量	
CMP		爆破法	
8:1	180	174	1:8
4:1	138	143	1:4
8:0	136	157	0:8

高,但得率、白度和不透明度下降,得率保持90%时的最佳蒸煮温度为190℃,见图7-3-15。

③ 随着蒸煮时间的延长,纸张所有的强度指标都有所提高,但得率、白度和不透明度下降。得率保持90%时最佳的蒸汽蒸煮时间为4min,见图7-3-16。进而可以看出,无论提高蒸煮温度、降低蒸煮时间,或降低

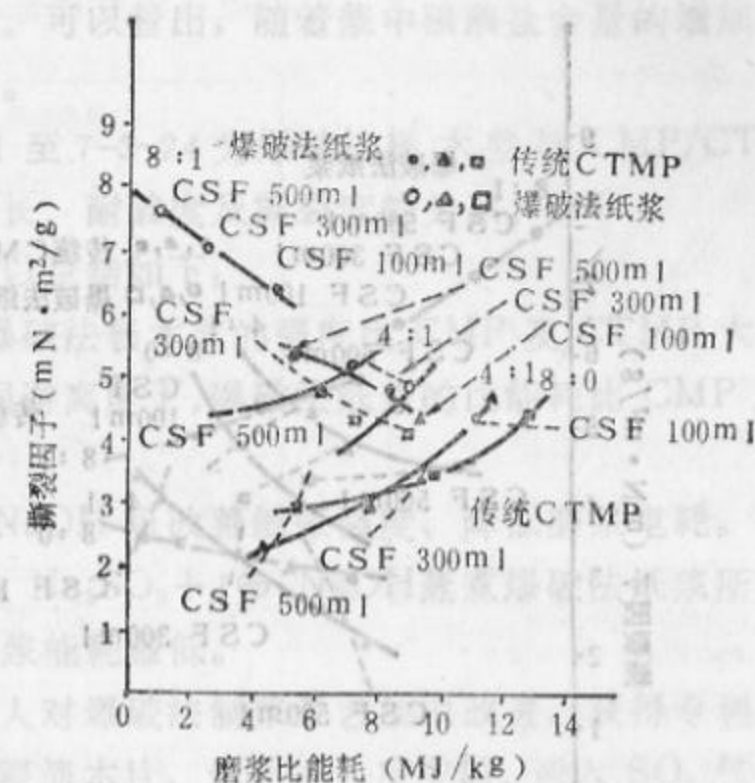


图 7-3-23 爆破法制浆与CTMP磨浆电耗与撕裂指数的关系(得率92%)

离子含量		离子含量	
CTMP		爆破法纸浆	
8:1	162	174	
4:1	135.5	143	1:4
8:0	125.5	157	0:8

蒸煮温度,提高蒸煮时间,只要温度(℃)和时间(min)的乘积为一常数,即可获得最佳的蒸煮条件。然而,要从高的蒸煮压力和时间中获得最大效益,蒸煮的温度以190~200℃为宜。

从图7-3-18至7-3-19可以看出,当蒸煮温度190℃,时间4min时,随着 $\text{Na}_2\text{SO}_3$ 用量的增加,纸张的所有强度都提高,但

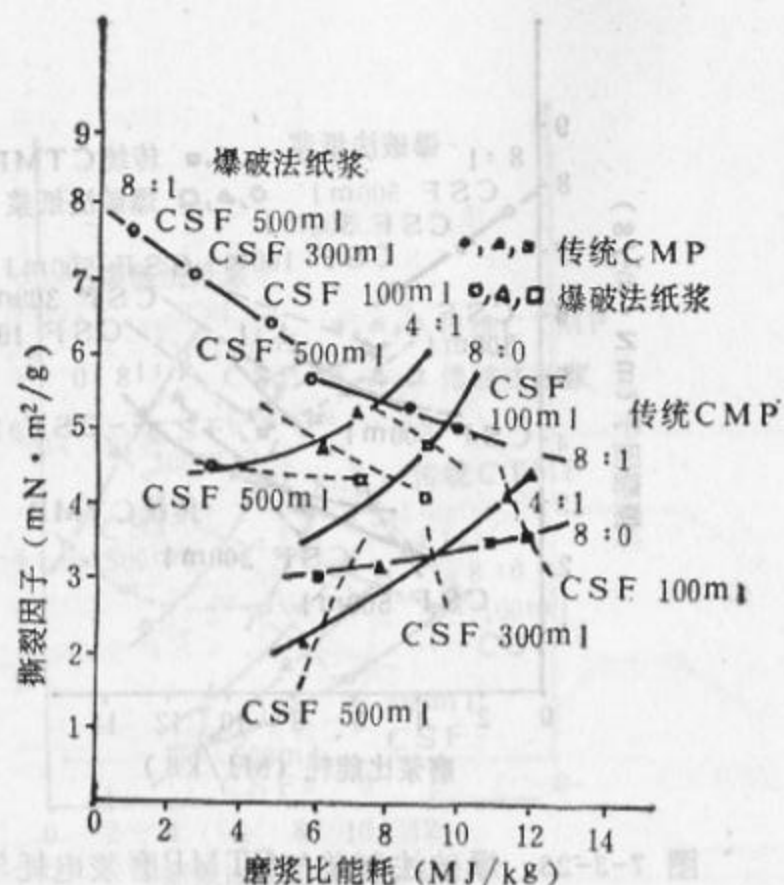


图 7-3-24 爆破法制浆与CMP磨浆电耗与撕裂指数的关系(爆破法浆得率92% CMP得率89.5%)

	离子含量	
	CMP	爆破法纸浆
8:1	180	174
4:1	138	143
8:0	136	157

$\text{Na}_2\text{SO}_3$  用量达到 8% 以前, 纸浆得率保持不变 (90%), 而 8% 的  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  加上 1% 的  $\text{NaOH}$  则得率下降至 88%, 而且, 为了保持一定的白度,  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  用量不得低于 6%。得率 88% 时的纸张强度可以和得率 55% 的硫酸盐浆相比。

图 7-3-20 为爆破法杨木浆的裂断长, 耐破度和撕裂度与磺酸

盐含量的关系。可以看出, 随着浆中磺酸盐含量的增加, 成纸强度有较大提高。

图 7-3-21 至 7-3-24 为爆破法杨木浆与 CMP/CTMP 的磨浆电耗与裂断长、耐破度及撕裂度的关系。

从图中可以总结如下:

- ① 蒸汽爆破法杨木浆的强度比 CMP 及 CTMP 大。
- ② 在相同游离度下, 爆破法纸浆的比能耗比 CMP 及 CTMP 低得多。
- ③ 加入  $\text{NaOH}$  可改善纸张强度、降低磨浆电耗。
- ④ 用 8%  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  + 1%  $\text{NaOH}$  蒸煮爆破法纸浆所折成的纸强度最好, 磨浆能耗最低。

最近瑞典人对爆破法制浆工艺加以改进, 获得专利。他们用碳酸钠溶液预浸渍木片, 然后进入反应器, 通入  $\text{SO}_2$  气体, 使之转换成  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ , 释放出的  $\text{CO}_2$  仍然留在溶液中。用高压蒸汽 (MPa) 加热木片, 由于  $\text{CO}_2$  的形成, 木片内部呈现压力, 然后将浆料喷放到压力为 0.5MPa 的旋风分离器中。蒸汽和  $\text{CO}_2$  的突然膨胀, 而将木片撕裂成粗纤维。释放出的蒸汽在再沸器中冷凝成压力为 0.4MPa 的新蒸汽。污冷凝液经蒸馏回收甲醇, 可用以改善木片的浸渍效果。

表 7-3-2  $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{SO}_2$  的爆破法制浆的试验条件

试验号	$\text{Na}_2\text{SO}_3$ 用量 (%对绝干木片)	放气 (s/MPa)	汽蒸 (s/MPa)	保温时间 (s/MPa)	COD (kg/t浆)	得率 (%)
S <sub>1</sub>	3.6	10/0.5	30/3	5/5	96	93.1
S <sub>2</sub>	8.7	10/0.5	30/3	15/5	232	84.8
S <sub>3</sub>	14.8	10/0.5	30/3	30/5	281	82.2

表 7-3-2 为试验的条件, 由于条件的限制, 试验是用  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  直接浸渍的。



图 7-3-25 和图 7-3-26 为云杉爆破法纸浆的性能。

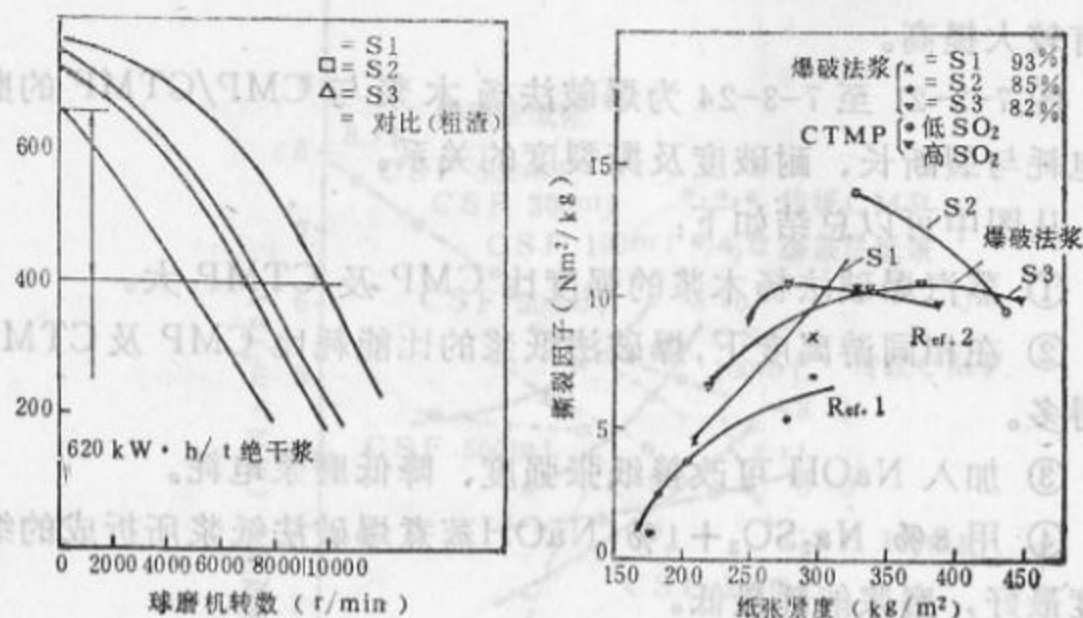


图 7-3-25 磨浆强度与

游离度的关系

图 7-3-26 纸张紧度与撕裂度的

关系

表 7-3-3 为云杉爆破法纸浆的强度。作为对比表中也列出了 CTMP 在不同  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  用量时的强度。

表 7-3-3 云杉爆破法纸浆的强度

试验号	游离度 (mL)	纤维束 (%)	张力指数 (kN·m/kg)	伸长率 (%)	耐破指数 (MN/kg)	撕裂指数 (Nm <sup>2</sup> /kg)	紧度 (kg/m <sup>3</sup> )
S <sub>1</sub>	740	0.20	21.6	1.1	1.1	9.1	289
S <sub>2</sub>	744	1.40	28.4	1.3	1.6	14.2	330
S <sub>3</sub>	725	0.70	32.5	1.5	2.2	10.5	339
CTMP ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ 2.8%)	775	12.8	...	...	...	1.2	176
CTMP ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ 9.9%)	755	1.20	10.9	0.8	...	6.9	214

从图 7-3-25、7-3-26 和表 7-3-3 可以看出, 用  $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{SO}_2$  的爆破法可以制得比传统 CTMP 性能更好的云杉纸浆, 而且在相等的质量水平下, 磨浆能耗可降低 25% 左右。

### 3. 低频率磨浆

用盘磨机磨浆时, 木片在径向通过两磨盘时, 是暴露在频率迅速增加的强大的压力脉冲之中。磨盘的磨齿和沟槽的数量由中心向外逐渐增多, 结果木材受到的压力脉冲从中心部位的几百 Hz 增加到圆周处可高达 15000~25000 Hz, 由于输入的能量很大使得大部分随木片带入的水或稀释用的水被蒸发, 产生大量的蒸汽。例如, 干度 33% 的木片预热至 100℃ 后喂入比能耗 1000 kW·h/t 浆, 绝对压力为 0.35 MPa 的盘磨机, 则每吨浆将释放出 690 m<sup>3</sup> 的蒸汽。假定所有这些蒸汽都从盘磨机圆周排出, 则能力 200 t/d, 直径 1000 mm 的传统盘磨机, 当蒸汽离开盘磨机时最高速度可达 150~200 m/s。然而, 盘磨机中心部位有些蒸汽的流动方向和纤维方向相反, 回流的蒸汽对纤维产生的阻力可能超过纤维的离心力, 这样纤维和蒸汽可能以不同的速度通过盘磨机。

Lucander 在盘磨机上的试验数据和 Salmen 从木材的扭力试验推导出的理论数据表明, 降低磨浆频率将大大降低磨浆能耗, 然而要在实际生产中实现这一点必须按比例地延长浆料在盘磨机中的停留时间, 或磨浆振幅, 以补偿所损失的冲击次数。

木片在盘磨机内停留的时间可通过采用圆柱型或锥型结构以延长轴向磨浆区, 而不是径向磨浆区来增加。然而仅仅这一措施还不足以大幅度延长停留时间, 一种可能的办法是将磨浆所产生的蒸汽就地排出, 例如, 让磨浆机内的蒸汽以垂直于纤维流动的方向排出, 就能大大延长纤维在盘磨机内的停留时间, 为此芬兰 Johan 和 Gullichoen 设计了一种锥型磨浆机, 如图 7-3-27 所示。

在转子沟槽的底部钻上许多孔, 使蒸汽沿着转子的长度方向从磨浆区径向地向内流动, 由于磨浆区内巨大的离心力的作用, 使蒸汽很容易地和纤维分离, 并通过转子上的孔进入汽室 a, 部分纤维随高速蒸汽进入纤维分离室 b, 在那里由于蒸汽速度已大大降低, 加上重力的作用, 使纤维和蒸汽进一步分离, 不含纤维

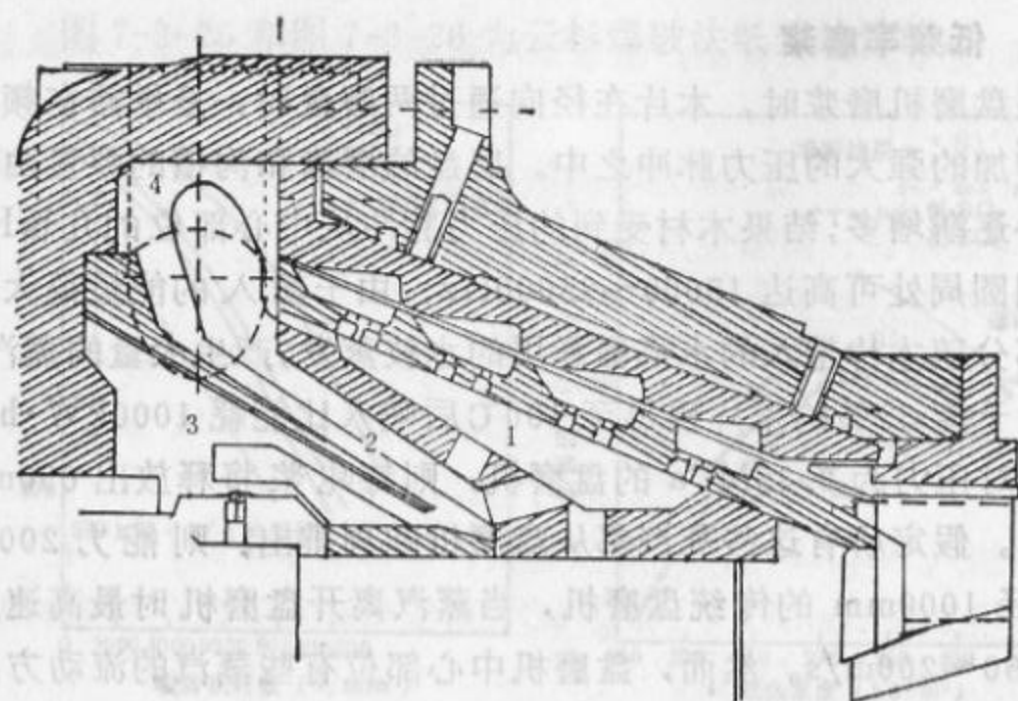


图 7-3-27 低频磨浆机示意图

1—汽穴 2—纤维分离 3—蒸汽出口 4—纤维出口

的蒸汽从排汽口 c 排出，而浆料则从浆料出口 d 排出。

一台排浆直径 1000mm，进浆直径 400mm，转子长度 850mm 的这种锥型磨浆机，有效磨浆容积为 38L，比传统盘磨机大 6 倍，这意味着即使不分离出蒸汽，浆料在磨浆区内的停留时间已经延长了 6 倍。如果加上蒸汽的就地分离，则浆料在磨浆机内可能的停留时间见图 7-3-28 所示能大大延长。

在能力为 6t/d 的试验机上的试验结果表明，低频磨浆机磨出的浆长纤维组分比传统磨石磨木浆或热磨机械浆高得多，见图 7-3-29。而且当游离度从 650mL 降低 50mL（打浆度从 17°SR 提高到 90°SR）时，纤维组分没有多大变化，磨浆能耗主要用于帚化纤维使之柔软，而很少切断纤维。从图 7-3-31 中可以看出，最初的 500~700kW·h/t 浆的磨浆能耗，主要用于帚化纤维，游离度变化不大而纤维束含量则迅速下降，可以很容易地生产出纤维束含量低于 1% 的浆。从图 7-3-34 及 7-3-35 可以看出，在适当的磨浆能耗下，浆料即可达到较高的强度，特别是撕裂度很高，这些都和低频磨浆机磨出的浆长纤维组分高有关。从图中还可以

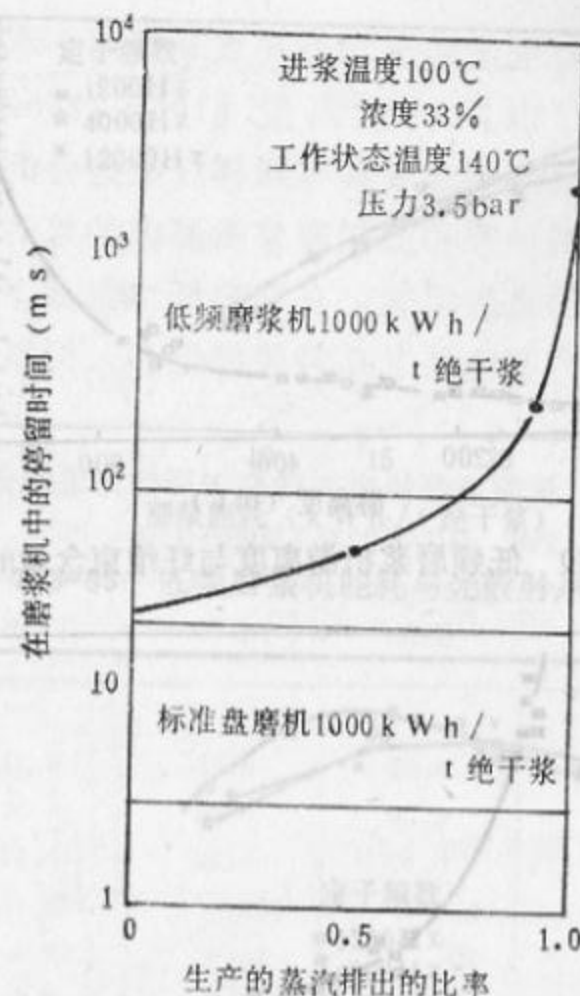


图 7-3-28 浆料在低频磨浆机内可能的停留时间

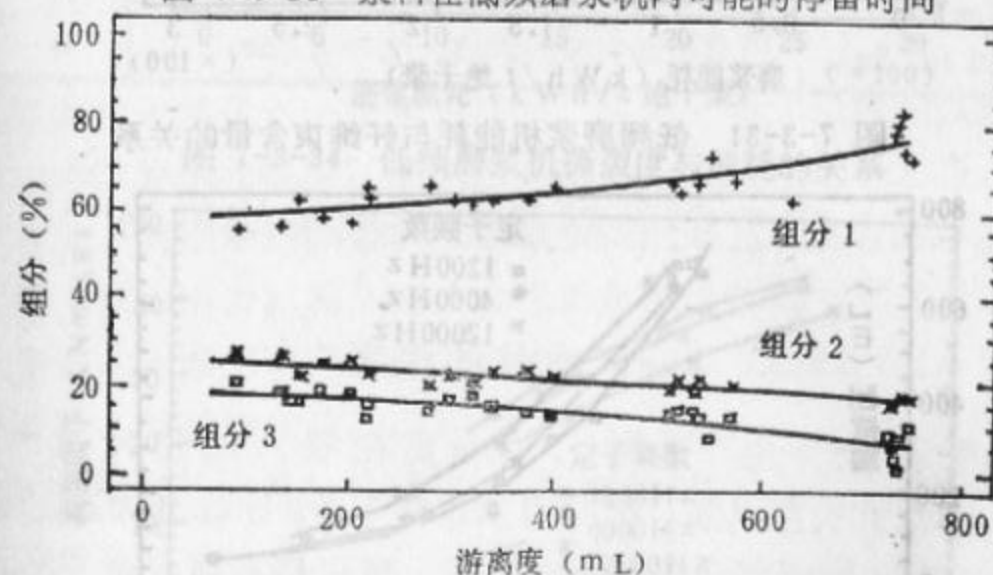


图 7-3-29 低频磨浆机磨出的浆游离度与纤维组分的关系

曲线 1 为留在 Bauer-Mcnett 筛分仪 30 目筛板上的组分。  
曲线 2 为通过 30 目而留在 200 目筛板的组分。  
曲线 3 为通过 200 目筛板的组分。



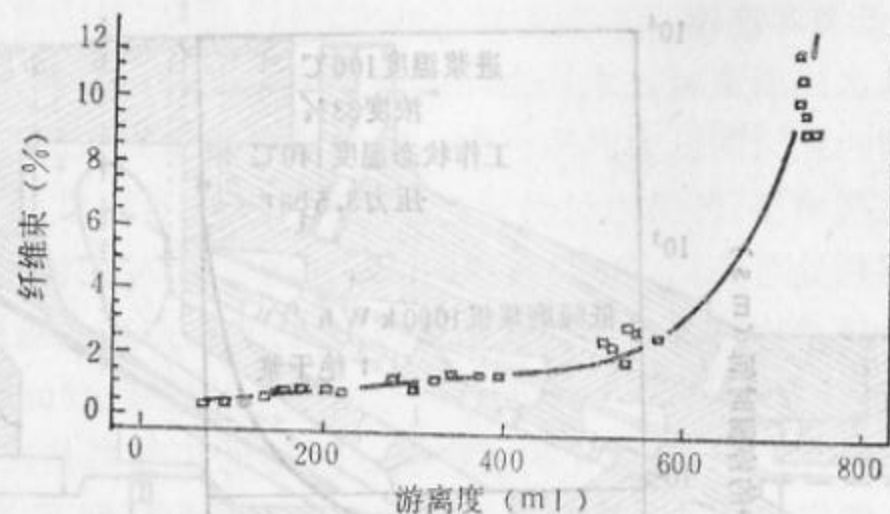


图 7-3-30 低频磨浆机游离度与纤维束含量的关系

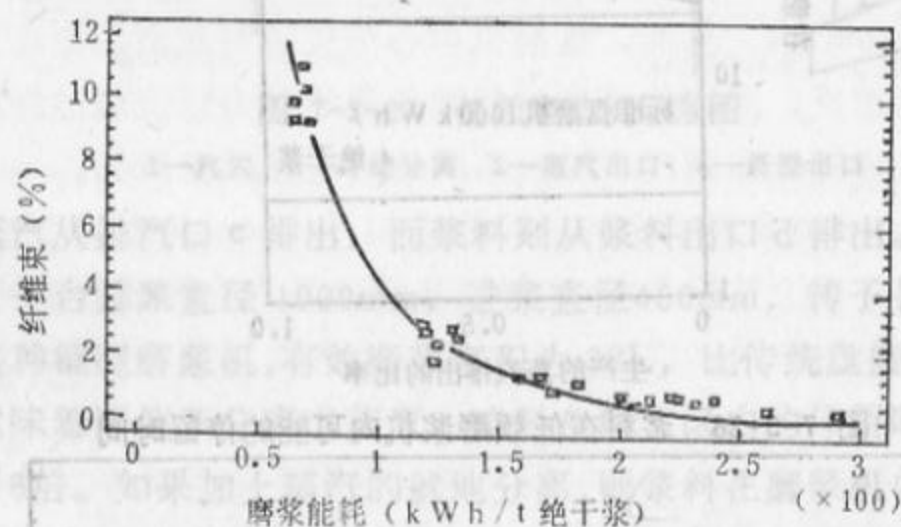


图 7-3-31 低频磨浆机能耗与纤维束含量的关系

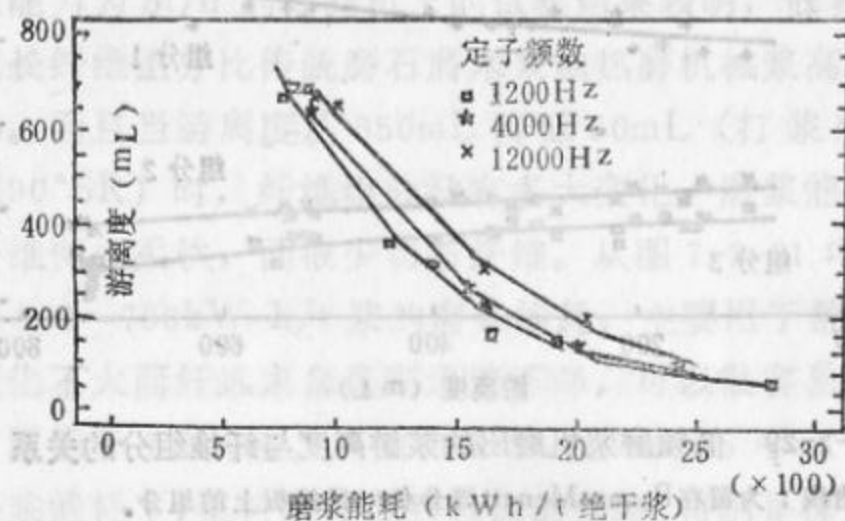


图 7-3-32 低频磨浆机游离度与能耗的关系

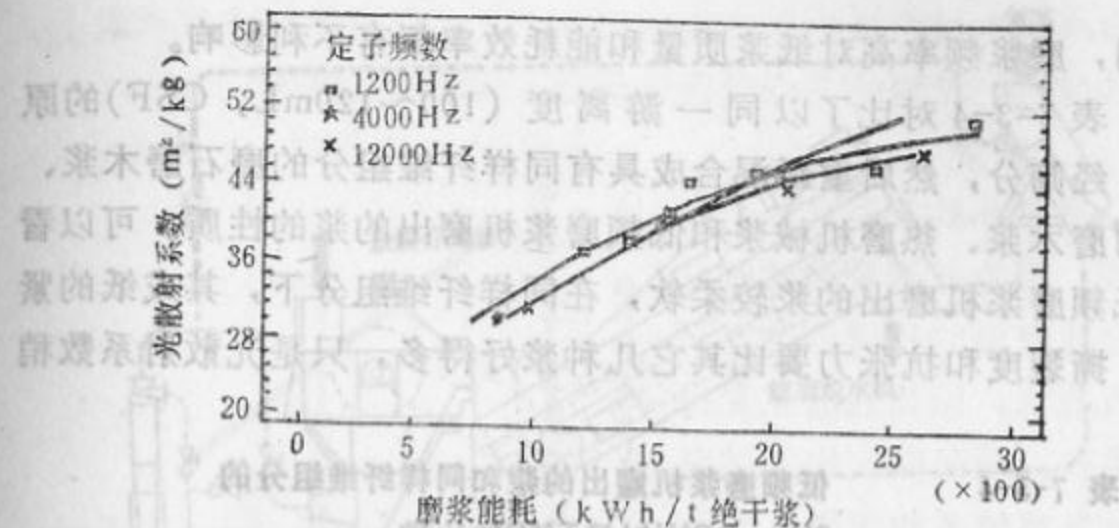


图 7-3-33 低频磨浆机能耗与光散射系数的关系

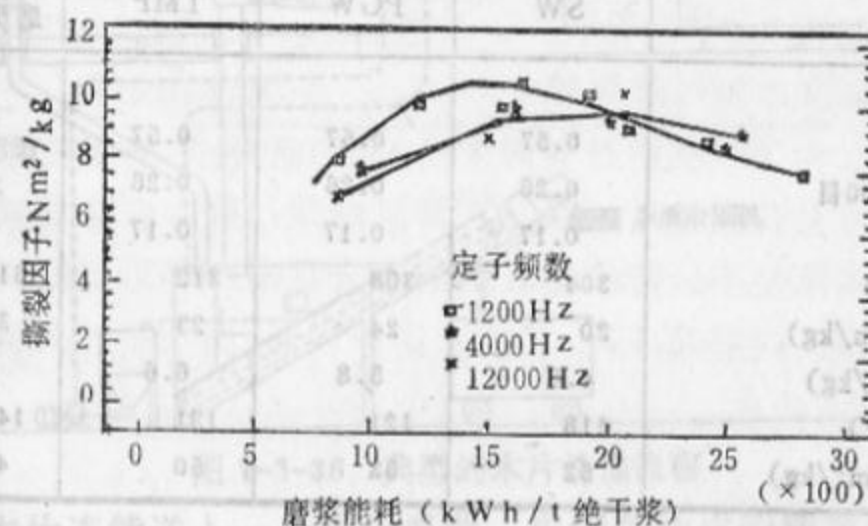


图 7-3-34 低频磨浆机撕裂度与能耗的关系

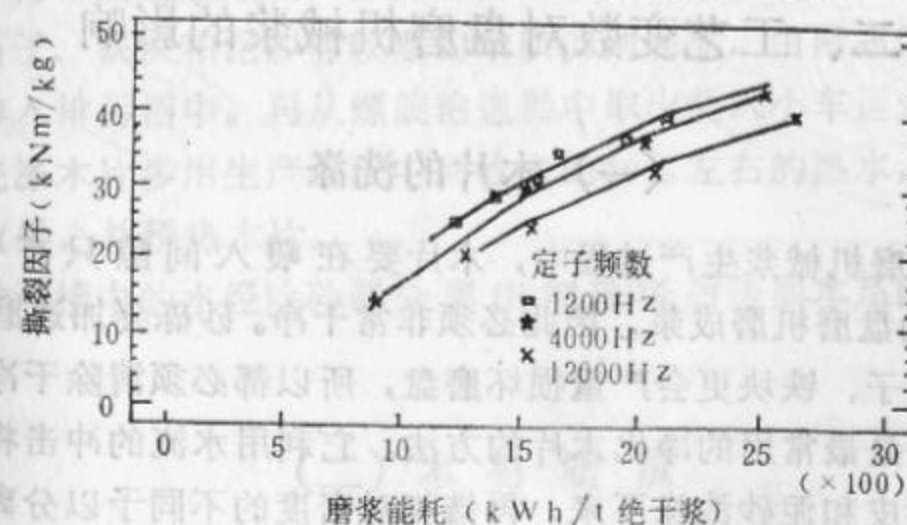


图 7-3-35 低频磨浆机抗张力与能耗的关系

证明，磨浆频率高对纸浆质量和能耗效率都有不利影响。

表 7-3-4 对比了以同一游离度 (100~120mL, CSF) 的原浆，经筛分，然后重新混合成具有同样纤维组分的磨石磨木浆、压力磨木浆、热磨机械浆和低频磨浆机磨出的浆的性质。可以看出低频磨浆机磨出的浆较柔软，在同样纤维组分下，其成纸的紧度、撕裂度和抗张力要比其它几种浆好得多，只是光散射系数稍低。

表 7-3-4 低频磨浆机磨出的浆和同样纤维组分的 SW、PGW 以及 TMP 的比较

	SW	PGW	TMP	低频磨浆机磨出的浆
纤维组分				
>30目	0.57	0.57	0.57	0.57
<30目>200目	0.26	0.26	0.26	0.26
<200目	0.17	0.17	0.17	0.17
紧度(kg/m <sup>3</sup> )	304	308	312	319
抗张力(kN·m/kg)	20	24	23	35
撕裂度(Nm <sup>2</sup> /kg)	4.8	5.8	6.6	8.9
结合力(J/m <sup>2</sup> )	118	121	121	143
光散射系数(m <sup>2</sup> /kg)	52	53	50	45

## 二、工艺变数对盘磨机械浆的影响

### (一) 木片的洗涤

在盘磨机械浆生产过程中，木片要在喂入间隙只有 0.2~0.3mm 的盘磨机磨成浆，因此必须非常干净。砂砾会加速磨盘的磨损，石子、铁块更会严重损坏磨盘，所以都必须清除干净。

洗涤是最常用的净化木片的方法。它利用水流的冲击将木片夹带的树皮和泥砂洗涤下来，再借相对密度的不同予以分离。木片洗涤还有稳定水分的作用。图 7-3-36 为典型的木片洗涤流程。

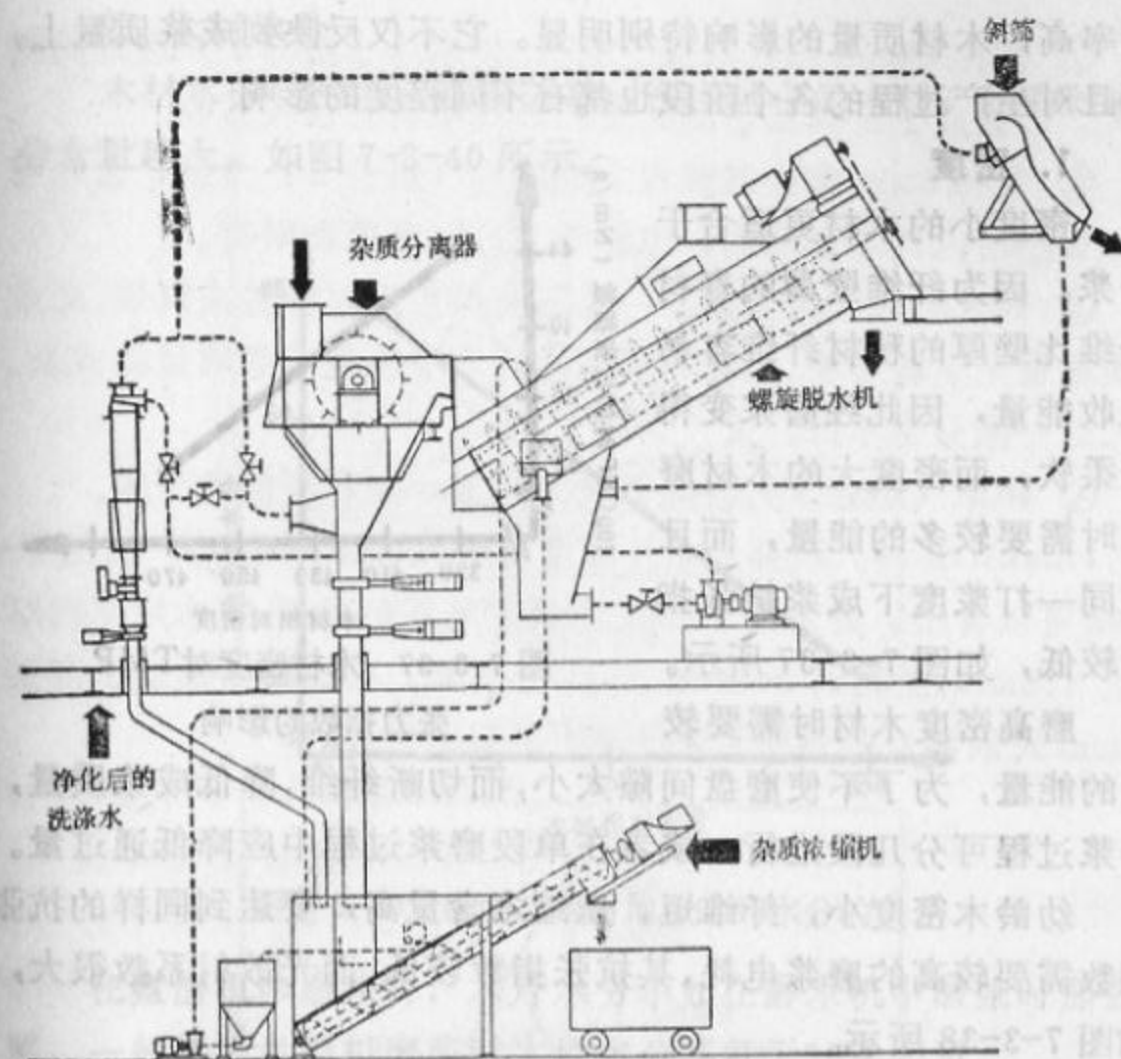


图 7-3-36 典型的木片洗涤流程

将木片连续送入一杂质分离器，用带有叶片的转鼓强制没入水中，再带到脱水螺旋，滤掉游离的水分后进入下一工序。

石子、铁块和泥砂等较重的杂质沉到底部，由两阀门交替开关而排入排污槽中。再从螺旋输送机中取出装入小车运走。

洗涤木片多用生产过程中回收来的 80℃ 左右的热水，以提高洗涤效果，并预热木片。

排污槽中的水经除砂器分离出细砂砾后送回本系统循环使用。

### (二) 木材质量

木材质量对任何一种制浆方法都很重要，而盘磨机械浆由于



得率高，木材质量的影响特别明显。它不仅反映到成浆质量上，而且对生产过程的各个阶段也都有不同程度的影响

### 1. 密度

密度小的木材更适合于磨浆。因为纤维壁薄的春材纤维比壁厚的秋材纤维容易吸收能量，因此经磨浆变得较柔软，而密度大的木材磨浆时需要较多的能量，而且在同一打浆度下成浆抗张指数较低，如图 7-3-37 所示。

磨高密度木材时需要较大的能量，为了不使磨盘间隙太小，而切断纤维，降低成浆质量，磨浆过程可分几段进行，或者在单段磨浆过程中应降低通过量。

幼龄木密度小，纤维短，压缩木含量高，要达到同样的抗张指数需要较高的磨浆电耗，其抗张指数较低，而光散射系数很大，如图 7-3-38 所示。

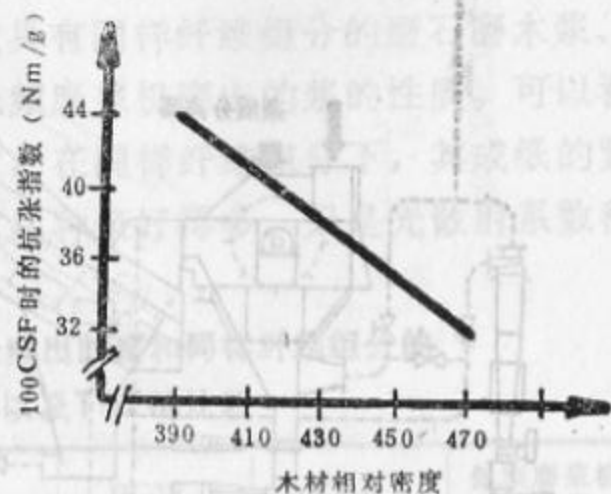


图 7-3-37 木材密度对 TMP 张力指数的影响

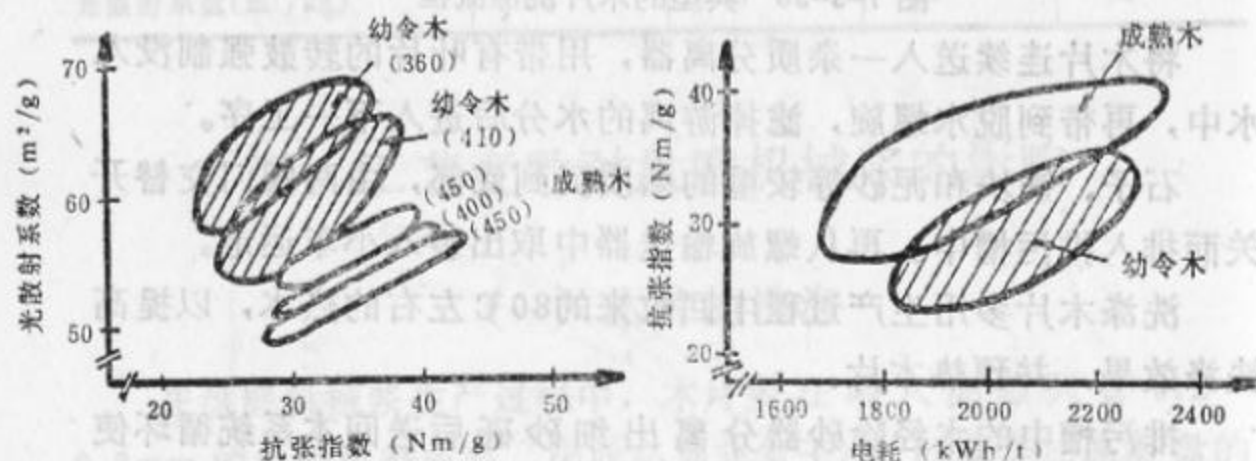


图 7-3-38 辐射松成熟材和幼龄材的张力指数与光散射系数的关系

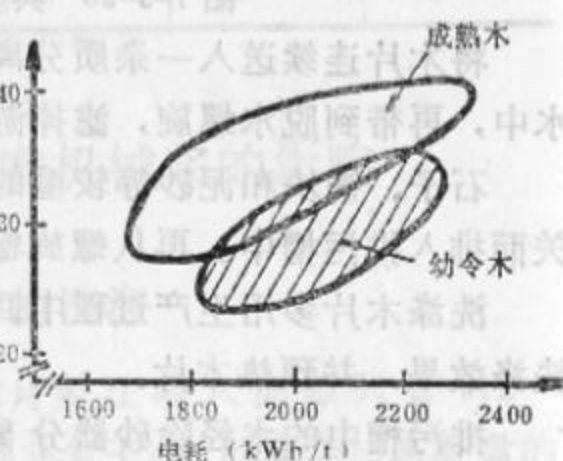


图 7-3-39 辐射松成熟材和幼龄材的比能耗与张力指数的关系  
(括号内为木材密度)

### 2. 木材水分

木材水分与密度有直接关系，密度越小的木材，饱和时的水分含量越大，如图 7-3-40 所示。

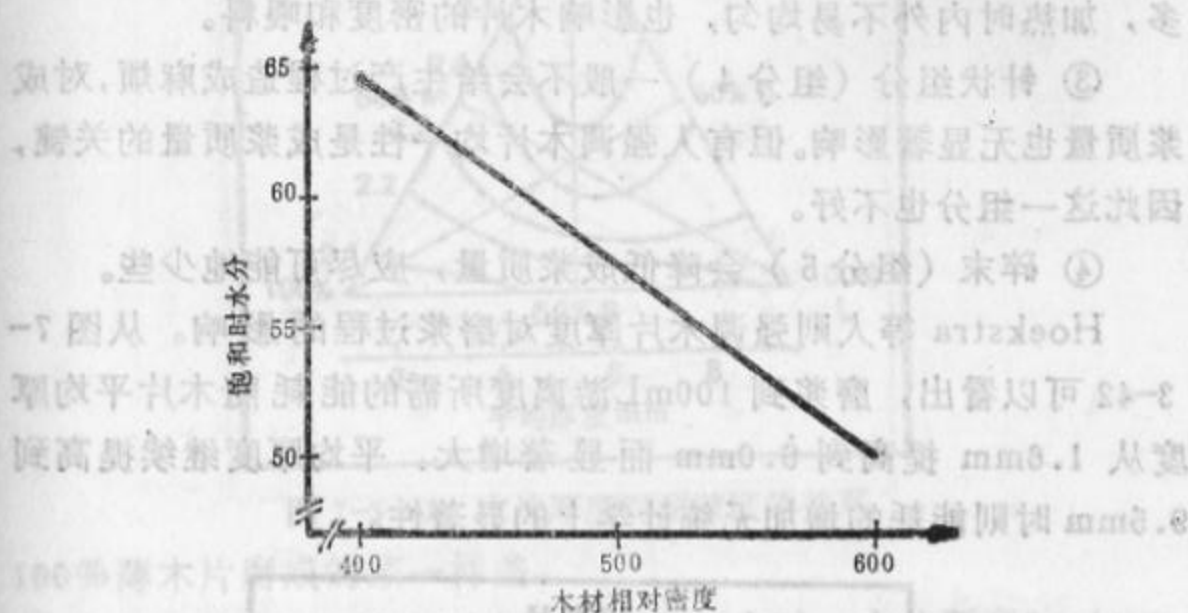


图 7-3-40 密度与木材饱和时的水分的关系

在盘磨机中磨浆时，木片水分不如在磨木机中磨浆时那么敏感，一般认为盘磨机磨浆时木片水分不低于 30% 即可。

当木片水分低到 30% 时，只要在盘磨机喂料螺旋处加入足够的水，除纤维束含量有所增加外，其它指标都能保持正常水平。

### 3. 木片规格

Nils Hartler 将木片按图 7-3-41 所示筛分后，研究了不同组分的木片对盘磨机械浆生产过程的影响。

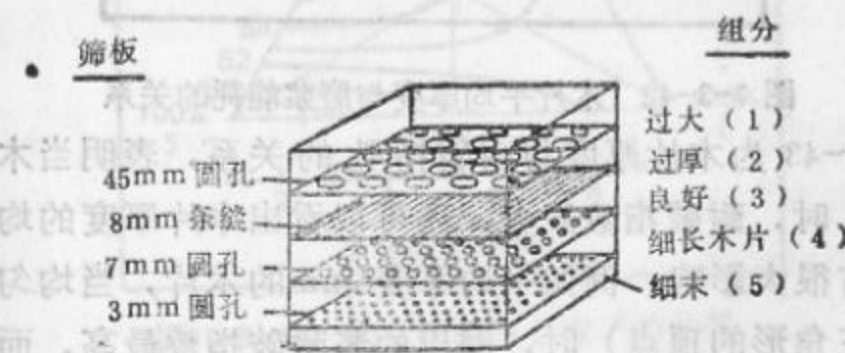


图 7-3-41 木片的筛分

① 留在 45mm 圆孔筛板上的大木木片 (组分 1) 通常比例不大, 但造成木片局部密度的变化, 对喂料有很大影响。

② 留在 8mm 宽条缝筛板上的木片 (组分 2) 太厚、含木节多, 加热时内外不易均匀, 也影响木片的密度和喂料。

③ 针状组分 (组分 4) 一般不会给生产过程造成麻烦, 对成浆质量也无显著影响。但有人强调木片均一性是成浆质量的关键, 因此这一组分也不好。

④ 碎末 (组分 5) 会降低成浆质量, 应尽可能地少些。

Hoekstra 等人则强调木片厚度对磨浆过程的影响。从图 7-3-42 可以看出, 磨浆到 100mL 游离度所需的能耗随木片平均厚度从 1.6mm 提高到 6.0mm 而显著增大。平均厚度继续提高到 9.5mm 时则能耗的增加无统计学上的显著性。

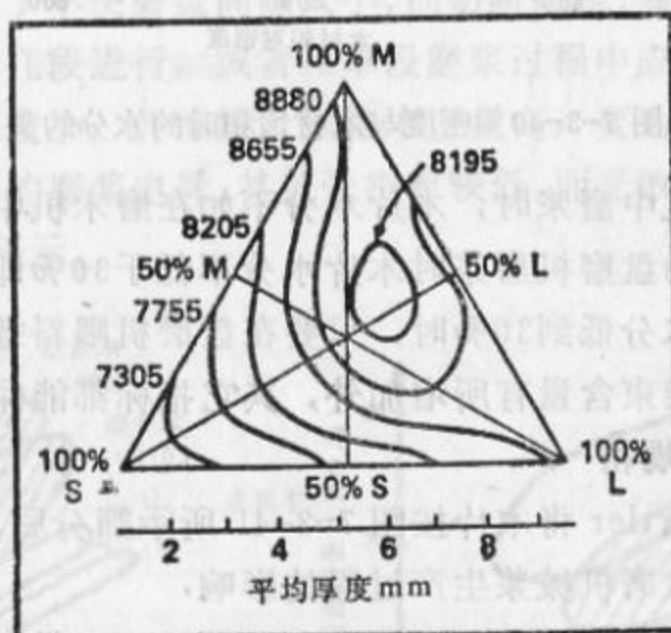


图 7-3-42 木片平均厚度与磨浆能耗的关系

图 7-3-43 为木片厚度与耐破指数的关系, 表明当木片厚度为 5~6mm 时, 耐破指数最大, 还可以看出木片厚度的均匀度对耐破指数有很大影响。例如平均厚度 5mm 的木片, 当均匀度最大 (接近于三角形的顶点) 时, 磨出的浆耐破指数最高, 而用薄木片和厚木片混合而成的很不均匀的木片, 其耐破指数几乎和由

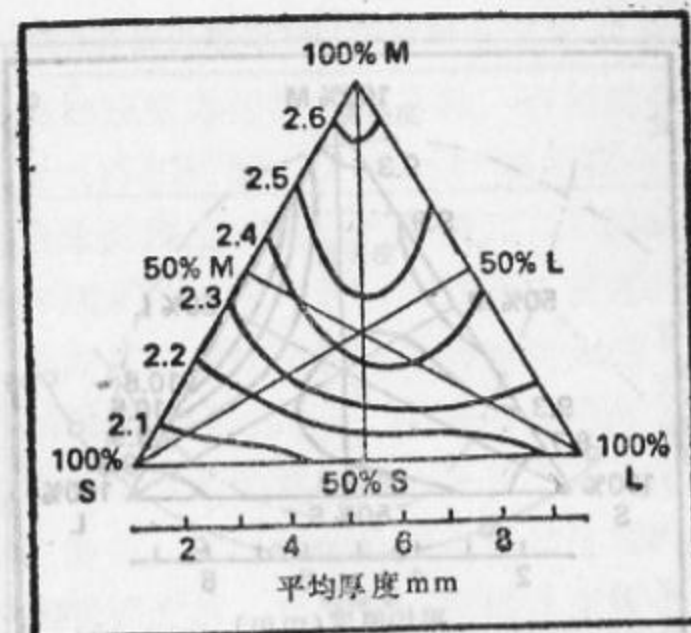


图 7-3-43 木片厚度对耐破度的关系

100% 薄木片磨成的浆一样差。

图 7-3-44 清楚地表明当游离度 100mL 时, 木片厚度 3~4mm 时 L 因子最大, 用薄木片和很不均匀木片 (接近于三角形的底) 磨成的浆 L 因子最小。

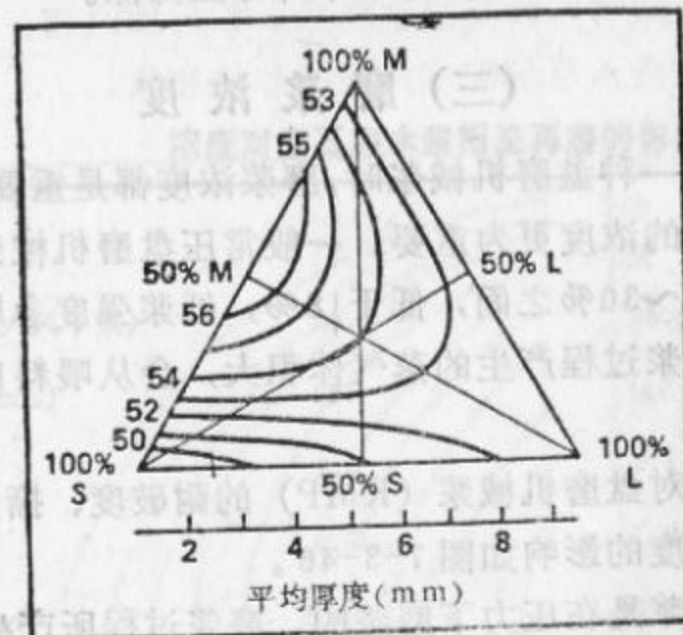


图 7-3-44 木片厚度与 L 因子的关系

图 7-3-45 表明木片厚度 3~4mm 及 7~8mm 时撕裂指数最



高，薄木片对撕裂指数影响最大。

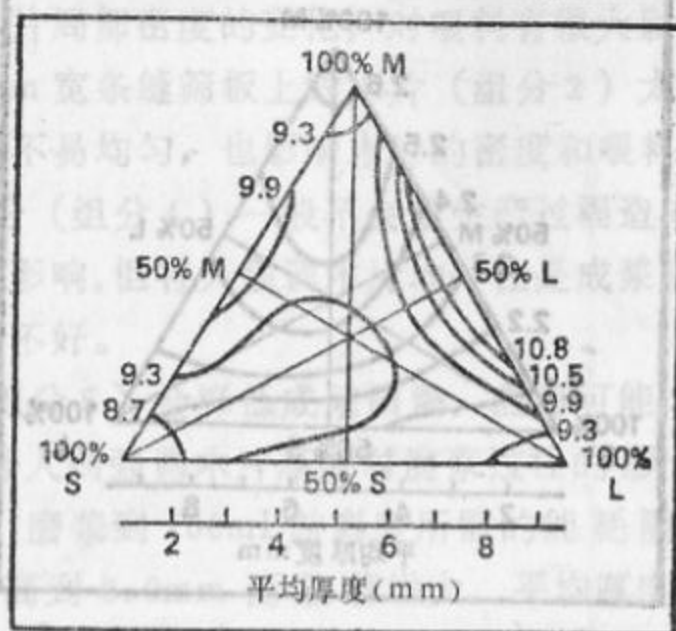


图 7-3-45 木片厚度与撕裂度的关系

这些研究结果表明盘磨机械浆的最合适的木片厚度为 3.5 ~ 6.0mm，然而比平均厚度更重要的是过厚和过薄木片的影响。一般认为厚度超过 10mm 的木片必须筛除，超过 7mm 的木片应少到最低限度，厚度小于 3mm 的厚木片亦应筛除。

### (三) 磨浆浓度

生产任何一种盘磨机械浆时，磨浆浓度都是重要的工艺参数，尤其是第一段的浓度更为重要。一般常压盘磨机械浆（RMP）的磨浆浓度在 20~30% 之间，低于 18%，纸浆强度急剧下降，浓度太高则由于磨浆过程产生的蒸气体积大，会从喂料口返喷，影响喂料。

磨浆浓度对盘磨机械浆（RMP）的耐破度、撕裂度、纤维束含量以及游离度的影响如图 7-3-46。

预热机械浆是在压力下磨浆的，磨浆过程所产生的蒸汽体积大大缩小，加上喂料器的改进也为高浓磨浆创造了有利条件，现在有的 TMP 系统的磨浆浓度可达 45~50%。

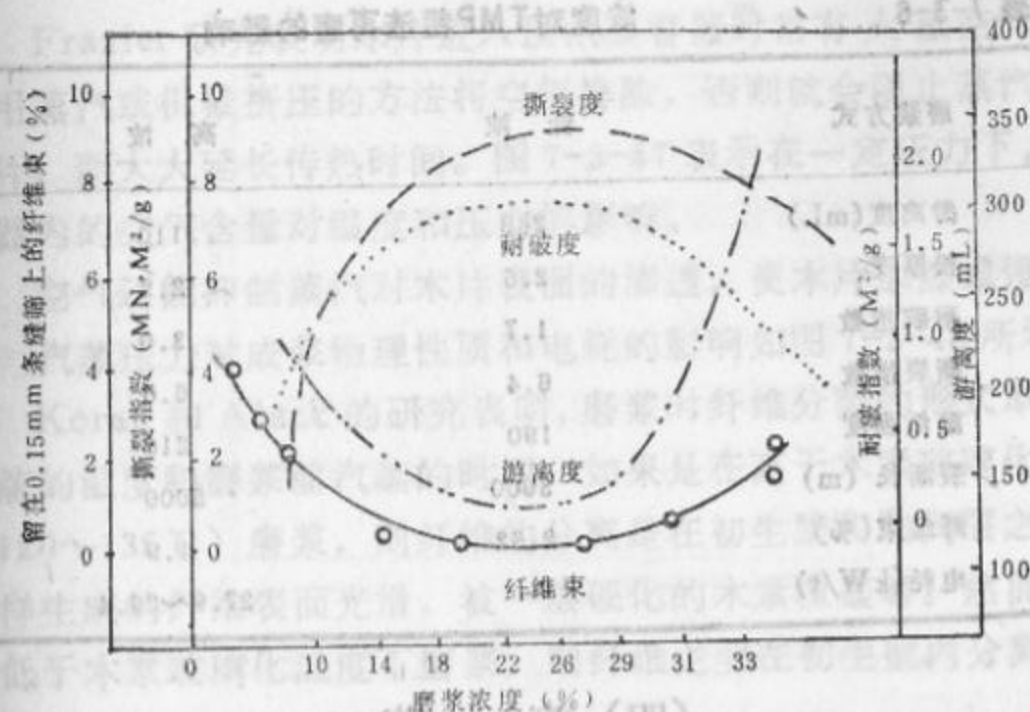


图 7-3-46 磨浆浓度对RMP的耐破度、撕裂度、纤维束含量以及游离度的影响

表 7-3-5 和表 7-3-6 分别为浓度对磨石磨木浆和 TMP 粗渣再磨的影响。

表 7-3-5 浓度对磨石磨木浆粗渣再磨的影响

磨浆浓度	19	8
电耗(kW/t风干浆)	26.9	35.6
游离度 (mL)	121	146
耐破指数	2.7	2.1
撕裂指数	6.7	7.2
裂断长 (m)	5140	4780
松厚度	2.27	2.58

表 7-3-6

浓度对TMP粗渣再磨的影响

磨浆方式	低 浓	高 浓
游离度(mL)	268	110
松厚度	2.5	2.3
耐破指数	1.7	3.0
撕裂指数	6.4	6.6
湿纸强度	190	210
裂断长(m)	3000	5000
纤维束(%)	2.52	1.9
电耗(kW/t)	—	27.9~29.4

#### (四) 汽 蒸

##### 1. 汽蒸对TMP的影响

木片洗涤后进行汽蒸是提高木片的水分，使之软化并驱逐木片中的空气而代之以水和蒸汽。在洗涤前，用盘磨机来的剩余蒸汽将木片加热到50~60℃以利洗涤，称为预汽蒸。在北方冬季预汽蒸还可去除进入系统的木片中的冰块和雪。

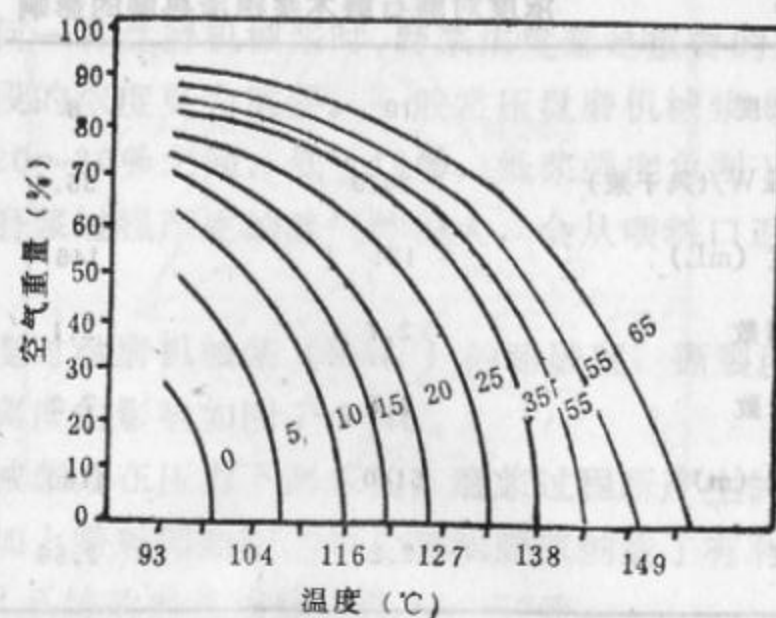


图 7-3-47 汽蒸容器内空气含量对温度和压力的影响

Frazier 研究表明木片进入预汽蒸容器时常有大量空气，除非用蒸汽或机械挤压的方法将空气排除，否则就会阻止蒸汽进入木片，而大大延长传热时间。图 7-3-47 表示在一定压力下，汽蒸容器内的空气含量对温度和压力的影响。

空气还能抑制蒸汽对木片表面的渗透，使木片加热减慢。

汽蒸压力对成浆物理性质和电耗的影响如图 7-3-48 所示。

Koran 和 Attack 的研究表明，磨浆时纤维分离的形式取决于系统的温度和磨浆前汽蒸的时间，如果是在高于木素玻璃化温度(120~135℃)磨浆，则纤维的分离是在初生壁和胞间层之间，这样生成的纤维表面光滑，被一层硬化的木素覆盖着。然而如果在低于木素玻璃化温度下磨浆，则纤维主要在初生壁内分离。这

表 7-3-7

压力和汽蒸温度对云杉TMP的影响

试验号	1	2	3	4	5	6	7
试验条件							
压力(kPa)	—	68.9	68.9	378.95	378.95	689.4	689.4
汽蒸时间(mi)	—	1.2	3.6	1.0	3.6	1.3	3.5
浓度(%)	—	58	58	58	58	58	58
电耗(kW·d/t (风干))	—	7.35	13.30	9.70	6.62	4.85	4.99
第二段常压磨浆							
电耗(kW·d/t (风干))	61.1*	45.4	43.3	44.5	47.0	44.4	40.4
总电耗(kW·d/t (风干))	61.1*	53.1	56.7	54.2	53.7	49.2	45.4
游离度(mL, csf)	129	164	140	258	503	624	638
耐破因子	17	17	16	13	3	7	5
撕裂因子	114	92	104	120	83	117	98
裂断长(m)	3890	2580	3750	3500	1580	1650	2110
松厚度	2.67	2.40	2.46	2.56	2.73	3.23	3.53
白度	51.0	—	53.0	50.0	46.5	—	37.5
不透明度	94.5	96.5	97.5	93.8	92.0	88.1	95.0

\* 两段常压磨浆的总电耗。

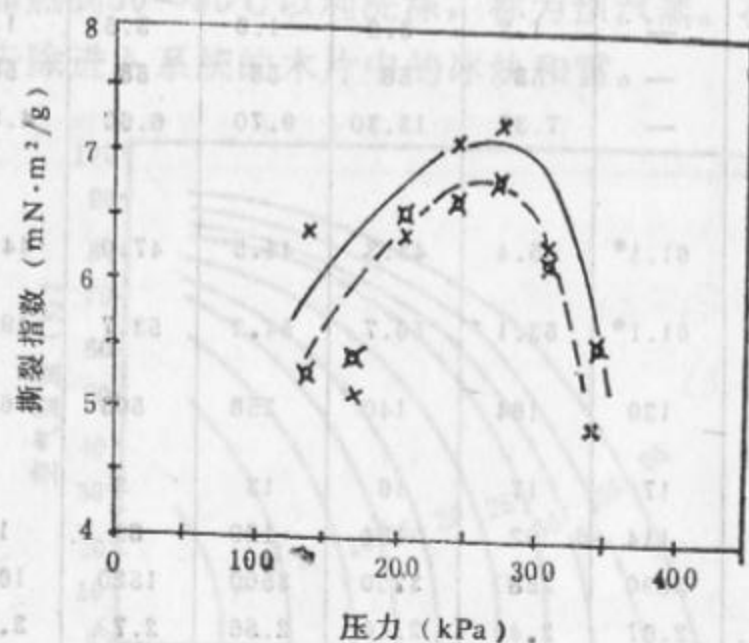


样纤维表面粗糙, 具有较多的纤维素性质。

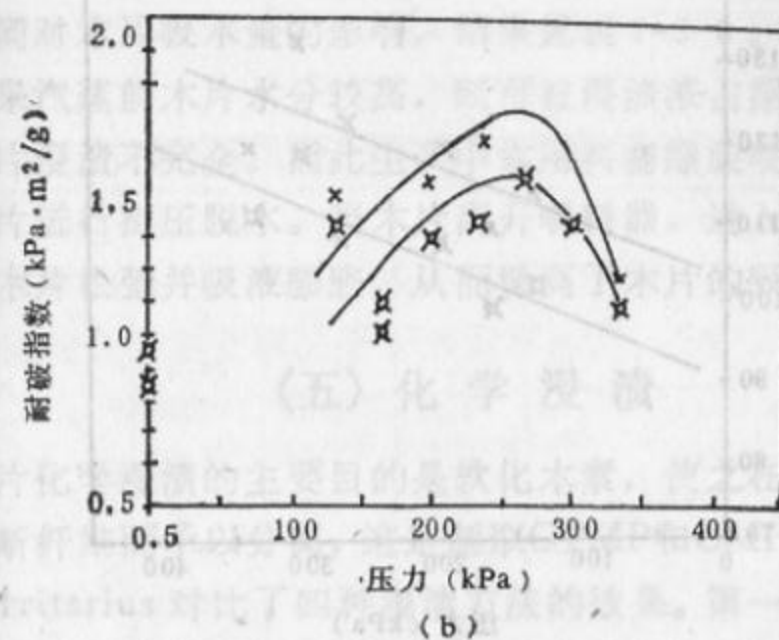
系统的压力和汽蒸时间对TMP的影响见表7-3-7。从表中可以看出, 汽蒸压力由10提高到379.2和689.4 Pa, 所生成的浆更经得住磨浆作用, 这可从在同样输入功率下有较高的游离度表现出来。而且汽蒸时间只是在压力378.95kPa时才有意义。这时汽蒸时间以1.0min 延长到3.6min, 生成的纤维难于磨浆, 纸浆白度也较低。比较常压磨浆(试验号1)和压力磨浆的结果表明, 为了保持同样的白度和大致相同的电耗, 汽蒸压力不得超过378.95kPa。

## 2. 汽蒸压力对TMP的影响

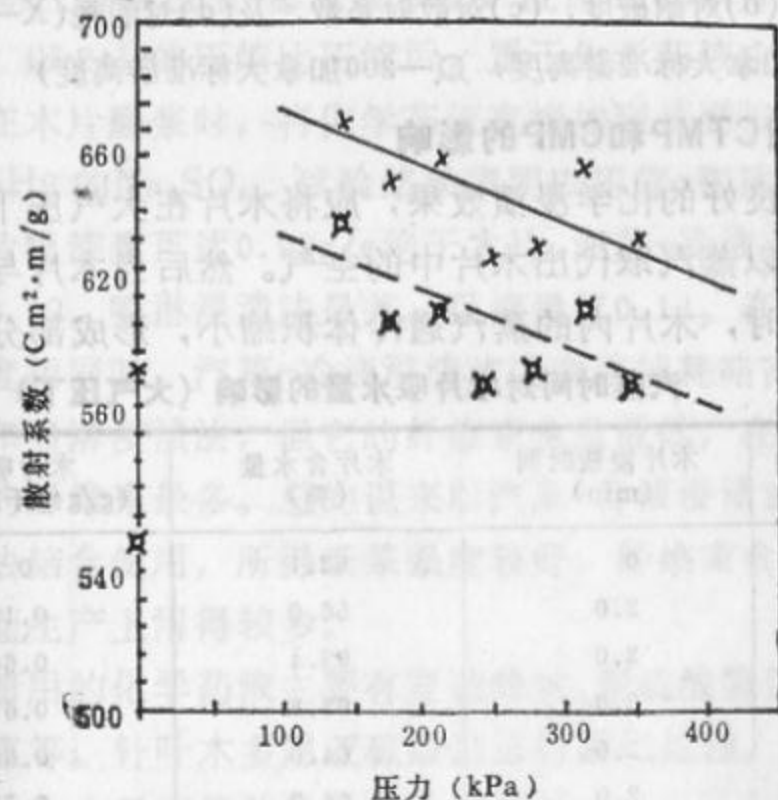
图7-3-48表明汽蒸压力对TMP成浆质量和电耗的影响, 可以看出在压力250~300kPa下汽蒸时, 成浆撕裂度和耐破最大, 而光散射系数随汽蒸压力的提高而下降, 磨浆电能则相反, 它随汽蒸压力的提高而上升。



(a)



(b)



(c)

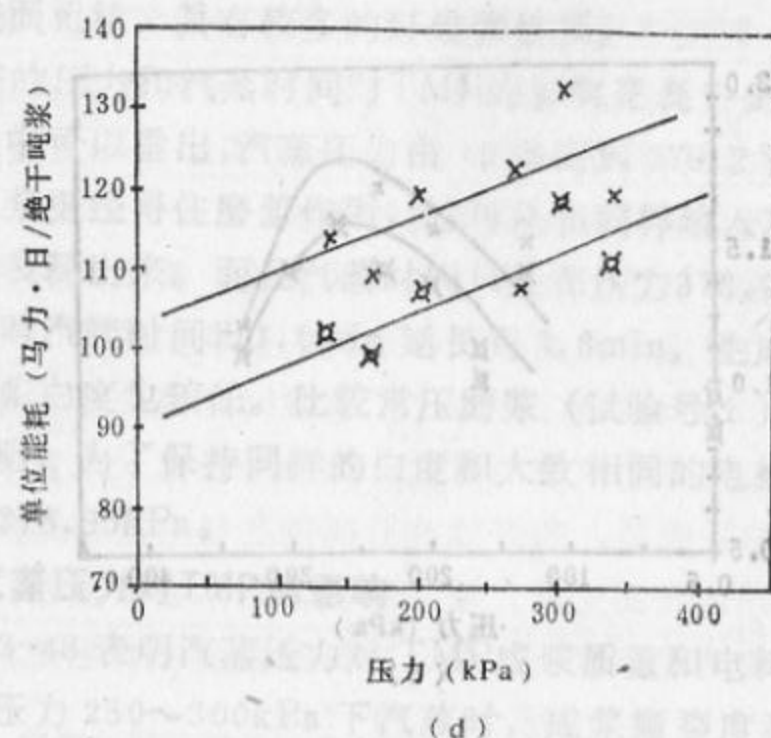


图 7-3-48 预热机械法制浆的汽蒸压力的影响: (a)对撕裂度, (b)对耐破度, (c)对散射系数, 及(d)对能耗(X—150加拿大标准游离度, O—200加拿大标准游离度)

### 3. 汽蒸对CTMP和CMP的影响

为了取得良好的化学浸渍效果, 应将木片在大气压下汽蒸足够长的时间, 以蒸汽取代出木片中的空气。然后当木片与室温下的浸渍液接触时, 木片内的蒸汽遇冷体积缩小, 形成部分真空,

表 7-3-8 汽蒸时间对木片吸水量的影响 (大气压下)

汽蒸时间 (min)	木片浸渍时间 (min)	木片含水量 (%)	木片吸水量 (g/g绝干木片)
0	0	52.1	0
0	2.0	56.0	0.19
0.5	2.0	63.4	0.64
1.0	2.0	63.8	0.67
2.0	2.0	64.0	0.69
3.0	2.0	64.2	0.70
4.0	2.0	64.2	0.72
6.0	2.0	64.7	0.75
10.0	2.0	65.2	0.79

浸渍液则被均匀地吸入到木片的空隙之中。Jackson 等人研究了汽蒸时间对木片吸水量的影响, 结果见表 7-3-8。

如果汽蒸前木片水分较高, 则可被浸渍液占据的空隙较少, 导致木片浸渍不完全。因此生产中常用料塞螺旋喂料器, 对汽蒸后的木片进行挤压脱水。当木片离开喂料器, 进入浸渍器后, 被压缩的木片松弛并吸液膨胀, 从而提高了木片的吸液量。

### (五) 化学浸渍

木片化学浸渍的主要目的是软化木素, 使之在磨浆时, 尽可能不切断纤维而予以分离, 这是制取CTMP和CMP的重要过程。

Ferritsius 对比了四种浸渍方法的效果。第一种为喷淋浸渍法, 是将化学药液直接喷淋在洗涤过的木片上; 第二种为汽蒸-冷液浸渍法, 木片汽蒸 10min 后, 在化学药液中浸渍 5min, 温度 20℃; 第三种是压缩-膨胀浸渍法, 洗涤过的木片在料塞螺旋喂料器中, 以 2:1 的压缩比压缩后, 置于化学药液中吸液膨胀; 第四种是在木片磨浆时, 将化学药液直接加到盘磨机中, 所用化学药液为 pH9 的  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ 。试验结果表明以压缩-膨胀浸渍法效果最好, 木片吸液量可达 0.98g/g 绝干木片, 汽蒸-冷液浸渍法次之, 吸液量为 0.79, 喷淋浸渍法最差, 吸液量仅 0.14。在纸浆的磺化度和游离度相同时, 汽蒸-冷液浸渍法的磨浆能耗略高于压缩-膨胀浸渍法和喷淋浸渍法, 但它的纤维束含量最低, 在盘磨机中加化学药液的纤维束最多。总的说来以汽蒸-冷液浸渍或它与压缩-膨胀浸渍法结合使用, 所得纸浆强度较好, 纤维束含量低, 操作简便, 因而生产上用得较多。

浸渍用的化学药液主要有亚硫酸钠、亚硫酸氢钠、氢氧化钠、过氧化氢等。针叶木多用亚硫酸钠进行磺化处理, 而阔叶木多用氢氧化钠和少量亚硫酸钠的混合液浸渍。

磺化方法可分为三种: 木片的磺化, 粗浆或浆渣的磺化, 成浆的磺化。



### (1) 木片的磺化

Lemay 等人研究了亚硫酸钠用量对CTMP浆质量的影响, 结果如表 7-3-9。

表 7-3-9 亚硫酸钠用量对CTMP质量的影响

Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> 用量(%, 对木片)	0	1.8	2.32	4.43	6.91
磨浆后纸浆pH	5.3	6.5	6.2	6.6	6.8
游离度(mL)	65	78	102	97	102
白度(%)	51.1	54.5	54.5	57.4	57.2
松厚度(mL/g)	2.64	2.68	2.69	2.51	2.63
撕裂指数(mN·m <sup>3</sup> /g)	6.2	7.2	6.8	6.6	7.3
裂断长(km)	4.2	4.6	4.6	5.0	4.5
伸长率(%)	1.6	2.1	1.9	1.9	1.9
不透明度(%)	98.3	96.5	96.8	95.0	95.0
纤维束含量(%)	1.4	0.9	0.45	0.11	0.06

Falk 等人认为, 温和条件下的亚硫酸钠的磺化作用纸浆中含较少发色基团, 从而可提高纸浆白度。在化学药液中加入少量DT-PA (二乙撑三胺五醋酸), 可进一步提高纸浆白度, 在白度相同时, 含DTPA的浆不透明度较高, 如图 7-3-51 所示。

CTMP中磺酸基含量对纸浆中长纤维含量的影响如图 7-3-52 所示。

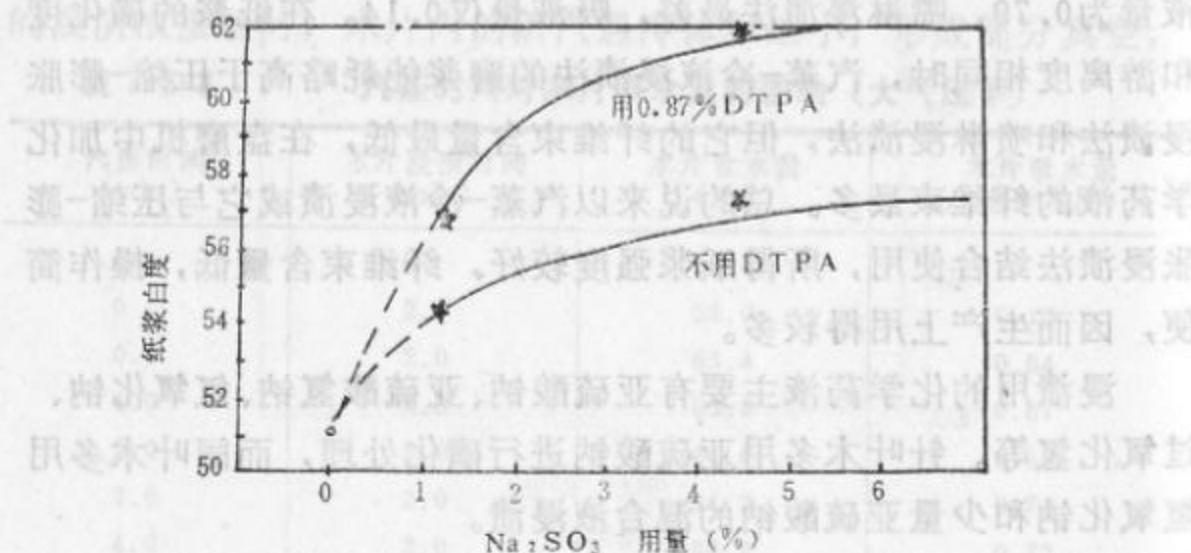


图 7-3-49 DTPA提高纸浆白度

### (2) 粗浆磺化

主要是TMP系统中第一段磨浆后的粗浆的磺化。一般说来, 粗浆磺化的反应比木片磺化剧烈, 磺化后的浆要充分洗涤, 尽可能去除未反应的化学药面, 否则会影响纸浆质量。

### (3) 成浆磺化

成浆磺化是指对已经磨成的纸浆进行磺化。

磺化的效果主要取决于下列因素:

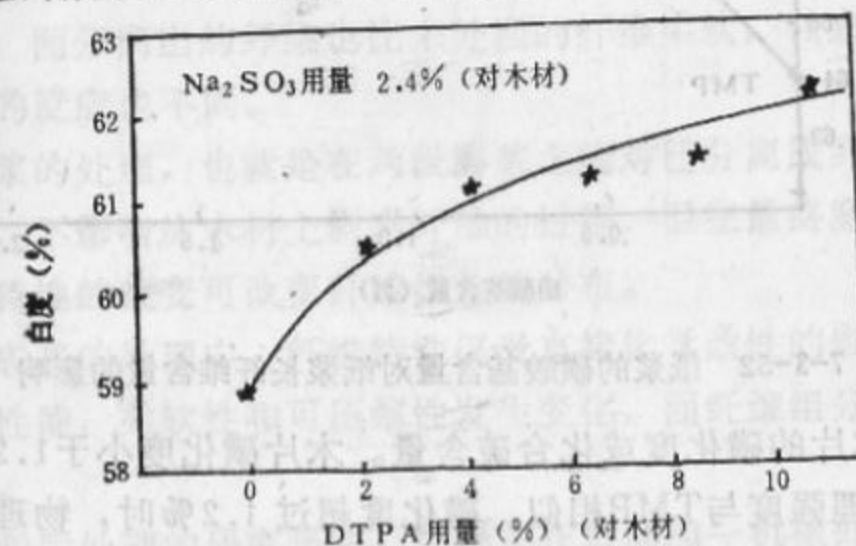


图 7-3-50 DTPA的用量对纸浆白度的影响

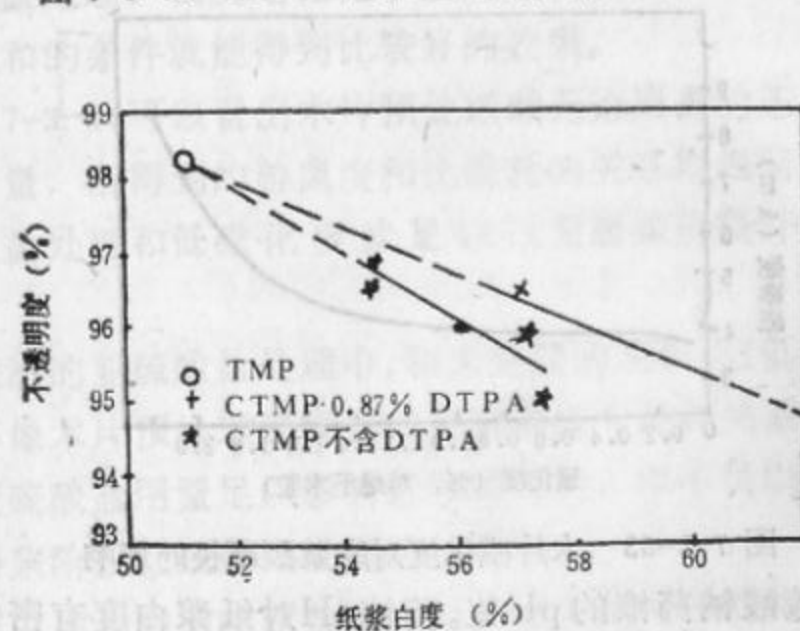


图 7-3-51 白度相同时, 含DTPA浆的不透明度较高

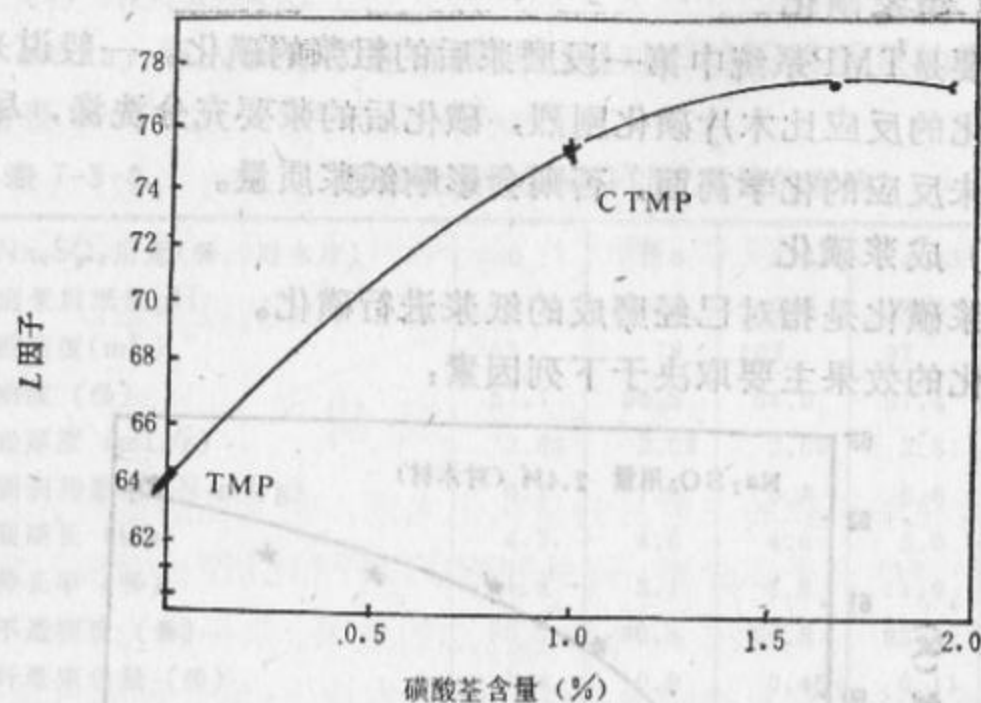


图 7-3-52 纸浆的磷酸基含量对纸浆长纤维含量的影响

① 木片的磺化度或化合硫含量。木片磺化度小于1.2%时，纸浆的物理强度与TMP相似。磺化度超过1.2%时，物理强度开始明显上升。到2.2%时纸浆的物理强度可达TMP的两倍，如图7-3-53所示。

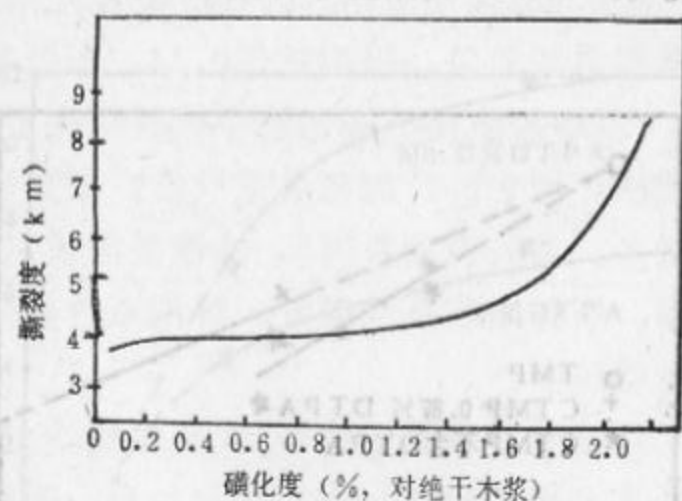


图 7-3-53 木片磺化度对成浆裂断长的影响

② 亚硫酸钠药液的pH值。药液pH对纸浆白度有密切关系。随pH的提高，纸浆强度增大，但白度下降。pH7.5~8.0时，纸

浆仍能保持适当白度，用于抄造新闻纸可以不必漂白。pH过低虽然白度较高，但对纸浆强度、得率和磨浆电耗均不利。

③ 磺化的温度和时间。提高磺化温度，延长磺化时间对纸浆得率和白度有些影响，但不大显著。一般磺化温度为140℃，时间30min。

在化学预处理中，木片被软化，纤维受到化学改性，很容易从木材中分离出来，使磨出的浆中含有较多的长纤维、较少的细小纤维，而分离出的纤维也比未处理的纤维柔软，在磨浆时对机械作用的反应也不同。

粗浆的处理，也就是在两段磨浆之间对已分离成纤维的浆料的处理，不影响从木材上剥离纤维的过程，但在最终磨浆阶段由于纤维特性的改变可改变纤维组分的分布。

对成浆的处理中，纤维特性仅受直接化学改性的影响，使纤维表面性能，柔软性和可压缩性发生变化，而纤维组分的分布不受影响。

化学后处理的研究表明，如果不在后面加一机械处理，要明显地改善纸浆性能就必须采取比较剧烈的处理条件，包括大剂量的亚硫酸盐处理；相反地在化学预处理中，甚至只要少量的亚硫酸盐和温和的条件就能得到比较好的效果。

从图7-3-54可以看出木片预处理时无论用高的还是较低的亚硫酸盐用量，所得到的游离度和比能耗的关系均相同，说明温和的亚硫酸盐处理和低磺化度就足以改变磨浆阶段纤维的解离过程。

在粗渣的亚硫酸盐处理中，和未处理的浆相比，低的亚硫酸盐用量并不像木片预处理那样会改变游离度—能耗关系，这说明尽管低的亚硫酸盐用量足以影响纤维的解离，但不足以明显地影响在机械磨浆阶段已经解离的纤维的特性。

目前以木片的磺化较普遍，但必须根据材种的特点和所要生产的纸张的性能，考虑粗浆或成浆的磺化。



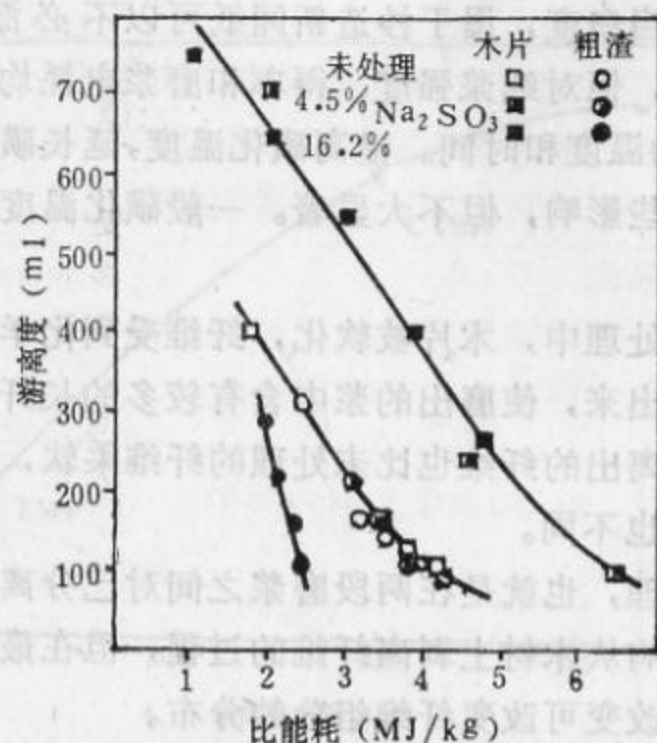


图 7-3-54 游离度的改善与比能耗的关系 (粗渣浆的值是根据第一段磨浆的能耗1.5MJ/kg校正的)

### (六) 磨浆压力对TMP的影响

为了利用盘磨机出来的蒸汽生产可用于纸机干燥纸张的有一定压力的蒸汽, 近来一些TMP系统都提高了磨浆压力。在评价高压TMP系统实际的压力极限时, Lunan 等人研究了不同的汽蒸压力和时间对纸浆白度、能耗以及TMP其它性质的影响。结果表明在传统的 200s 的汽蒸时间下, 在给定的能耗内, 随着压力的提高, 耐破因子下降。要达到给定的耐破因子, 能耗大大增加, 如图7-3-55。要保持相同的裂断长, 松厚度湿纸强度和光散射系数, 能耗差不多也要增加这么多。

在所研究的压力范围内, 白度几乎与能耗无关, 但随压力的提高白度下降, 当压力从 200kPa 提高到400kPa时, 白度降低半度, 而进一步提高压力, 白度则迅速下降, 压力到 620kPa 时白度约降低 8 度, 如图7-3-56所示。

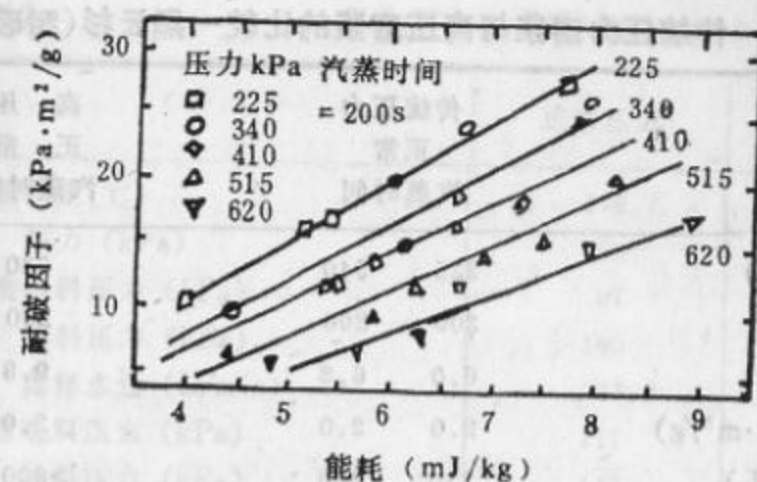


图 7-3-55 耐破因子与能耗的关系曲线  
(在200s的汽蒸时间下, 压力增加)

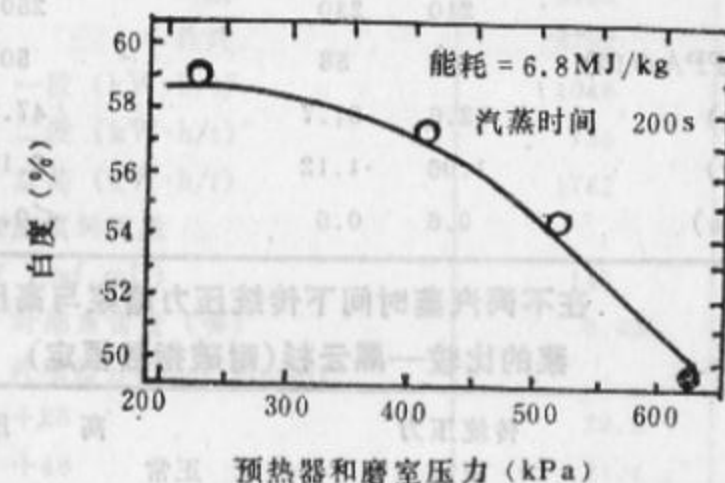


图 7-3-56 压力与白度的关系曲线  
(在200s的汽蒸时间下, 压力超过350kPa时)

表7-3-10为磨浆压力对浆料性质的影响。

为了克服高压磨浆对能耗和纸浆白度的不良影响, 又进行了缩短汽蒸时间的试验, 结果表明, 当汽蒸时间缩短到 16s 时, 可大大减少高压磨浆的不良影响。见表7-3-11。其结论是: 如果将汽蒸时间缩短到 16s 或更短一些, 则 TMP 系统可在 620kPa 压力下操作而对浆料性质无明显影响, 也不增加能耗, 而更有利于热能的有效回收。

表 7-3-10 传统压力磨浆与高压磨浆的比较—黑云杉(耐破指数恒定)

	传统压力 正常 汽蒸时间		高 压 正 常 汽蒸时间
汽蒸压力 (kPa)	225	340	620
汽蒸时间 (s)	200	200	200
能耗 (MJ/kg)	6.0	6.8	9.8
耐破指数 (kPa·m <sup>2</sup> /g)	2.0	2.0	2.0
游离度 (csf, mL)	230	260	>600
裂断长 (km)	3.5	3.5	3.8
撕裂指数 (mN·m <sup>2</sup> /g)	9.0	9.7	9.1
松厚度 (cm <sup>3</sup> /g)	3.3	3.3	3.2
湿纸强度 (m)	210	230	250
白度(%, 手抄纸CPPA #10)	59	58	50
散射系数 (m <sup>2</sup> /kg)	52.6	51.7	47.3
吸收系数 (m <sup>2</sup> /kg)	1.06	1.12	2.10
Somerville粗渣(%)	0.6	0.5	<0.1

表 7-3-11 在不同汽蒸时间下传统压力磨浆与高压磨浆的比较—黑云杉(耐破指数恒定)

	传统压力		高 压			
	正常		正常	短		
	汽蒸时间		汽蒸时间	汽蒸时间		
汽蒸压力 (kPa)	225	340	620	450	515	620
汽蒸时间 (s)	200	200	200	16	16	16
能耗 (MJ/kg)	6.0	6.8	9.8	6.8	6.9	6.9
耐破指数 (kPa·m <sup>2</sup> /g)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
游离度 (csf, mL)	230	260	>600	250	245	280
裂断长 (km)	3.5	3.5	3.8	3.5	3.5	3.5
撕裂指数 (mN·m <sup>2</sup> /g)	9.0 <sup>#</sup>	9.7 <sup>#</sup>	9.1 <sup>#</sup>	9.4 <sup>#</sup>	10.0 <sup>#</sup>	10.2 <sup>#</sup>
松厚度 (cm <sup>3</sup> /g)	3.3	3.3	3.2	3.3	3.3	3.3
湿纸强度 (m)	210	230	250	200	200	210
白度 (%, 手抄纸, CPPA #10)	59	58	50	58	58	58
散射系数 (m <sup>2</sup> /kg)	52.6	51.7	47.3	51.7	51.3	50.2
吸收系数 (m <sup>2</sup> /kg)	1.06	1.12	2.10	1.15	1.13	1.08
Somerville粗渣 (%)	0.6	0.5	<0.1	0.6	0.5	0.4

表 7-3-12

磨浆压力对TMP的影响

	正常压力	高压
预热器温度(℃)	119.7	107.0
压力 (kPa)	92	26
一段磨喂料压力 (kPa)	97	31
排料压力 (kPa)	160	320
稀释水量 (L/min)	47.8	50.8
二段磨喂料压力 (kPa)	117	310
排料压力 (kPa)	117	310
稀释水量 (L/min)	42.1	43.6
通过量 (t/h)	3.78	3.78
电机负荷(kW), 一段	3999	4164
二段	2793	2761
— 总共	6792	6925
电耗, 一段 (kW·h/t)	1046	1084
二段 (kW·h/t)	736	737
总共 (kW·h/t)	1782	1811
二段磨后浆料性质		
游离度 (csf, mL)	145	141
纤维束含量 (%)	0.43	0.84
纤维筛分Bauer Menett		
+28	29.2	35.4
+48	21.4	19.2
+100	13.5	11.0
+200	7.4	6.3
-200	28.6	28.3
张力指数 (Nm/g)	29.0	32.5
耐破指数 (kPa·m <sup>2</sup> /g)	1.58	1.98
撕裂指数 (mN·m <sup>2</sup> /g)	6.59	8.12
紧度 (g/cm <sup>3</sup> )	0.34	0.34

## (七) 压差对TMP能耗和性质的影响

压差定义为盘磨机入口与出口之压力差, 为了和习惯一致, 将盘磨机外壳内的压力大于出口压力的称为+ΔP。以往对ΔP重



视不够,并未当作重要参数。最近,随着热回收技术的发展,盘磨机外壳内的压力一般保持比入口处为大的压力。这种较大的正压差,主要是为了提高热回收效率,而不是为了影响纸浆的性质。

Lunan 等人研究了这压差对TMP的能耗及成浆性质的影响,如图7-3-57表示在7个不同的压差下,耐破指数与能耗的关系。从中求出三个 $\Delta P$ 的回归直线,这三条线相平行,说明 $\Delta P$ 对耐破指数与能耗关系有显著影响。从回归线中计算出在此能耗为8.2 MJ/kg时,当 $\Delta P$ 从+75kPa降为-75kPa时,耐破指数从2.0提高到2.4kPa·m<sup>2</sup>/g。这结果和表7-3-13所列其它指标相似。除了撕裂度降低外所有物理指标都有明显提高。从这回归线可计算出改变 $\Delta P$ 时要保持耐破指数为2.0kPa·m<sup>2</sup>/g所需的能量。如图7-3-58,上面一线表明当 $\Delta P$ 从+75kPa降至-75kPa时,能耗降低1MJ/kg(12%),另一次试验在同样 $\Delta P$ 范围内,能耗下降0.9MJ/kg(14%)。

改变 $\Delta P$ 时保持其它性能不变所需的能耗是不同的。见表7-3-14所示。

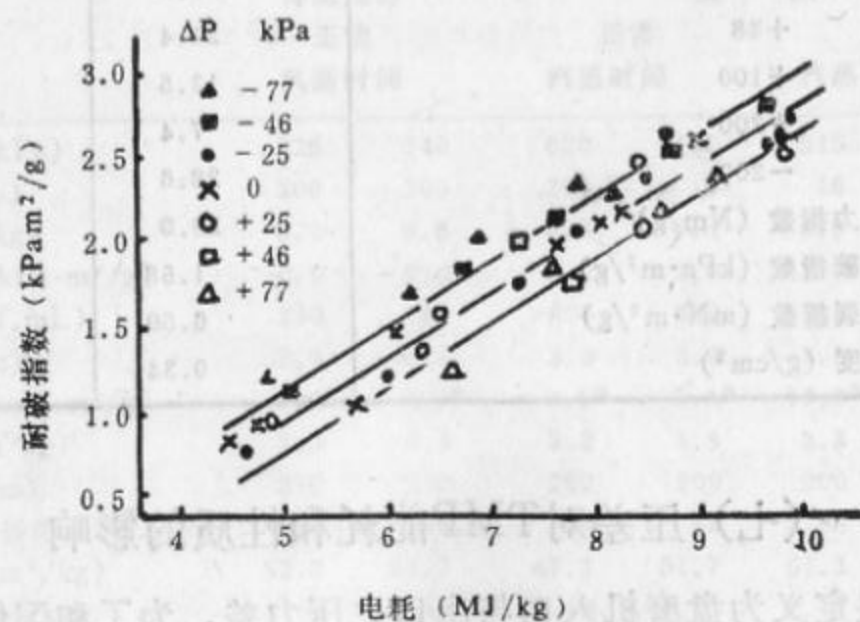


图 7-3-57 不同压差下比能耗与耐破指数的关系

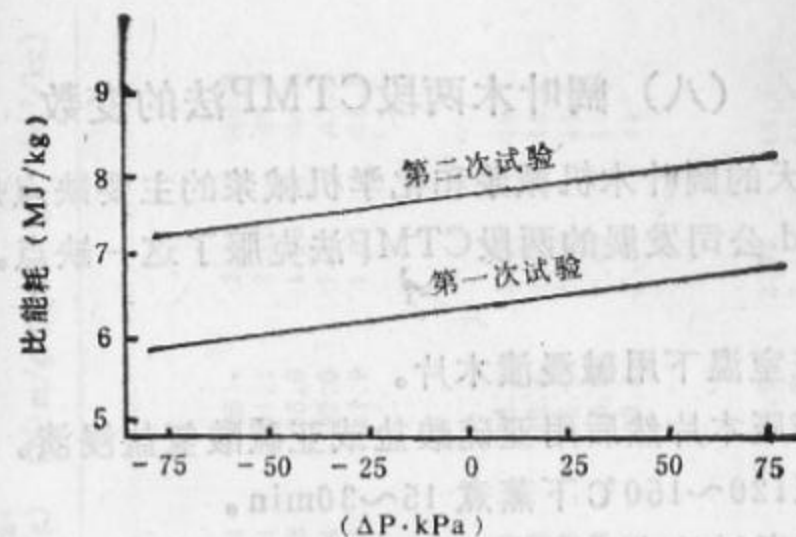


图 7-3-58 为保持耐破指数为2.0kPa·m<sup>2</sup>/g时 $\Delta P$ 与能耗的关系

表 7-3-13 在同样比能耗下 $\Delta P$ 对TMP性质的影响

压 差 kPa	+75	-75
比能耗 (MJ/kg)	8.2	8.2
耐破指数 (kPa·m <sup>2</sup> /g)	2.0	2.4
松厚度 (cm <sup>3</sup> /g)	3.2	2.7
游离度 (csf, mL)	210	130
撕裂指数 (mN·m <sup>2</sup> /g)	9.7	8.4
裂断长 (km)	3.6	4.3
光散射系数 (m <sup>2</sup> /kg)	65	61
湿纸强度 (m)	230	250

表 7-3-14 在同样质量指标 F $\Delta P$ 从+75降至-75时能耗下降情况

	质量指标保持不变	能耗降低(%)
耐破指数 (kPa·m <sup>2</sup> /g)	2.0	12
松厚度 (cm <sup>3</sup> /g)	3.2	18
游离度 (csf, mL)	210	20
撕裂指数 (mN·m <sup>2</sup> /g)	9.0	0*
裂断长 (km)	3.6	17
光散射系数 (m <sup>2</sup> /kg)	55	24
湿纸强度 (m)	230	12

\*  $\Delta P$ 小于-45kPa时无法保持 9.0mN·m<sup>2</sup>/g。

## (八) 阔叶木两段CTMP法的变数

密度大的阔叶木机械浆和化学机械浆的主要缺点是强度低。美国 Mead 公司发展的两段CTMP法克服了这一缺点。其流程包括:

- ① 在室温下用碱浸渍木片。
- ② 挤压木片然后用亚硫酸盐或亚硫酸氢盐浸渍。
- ③ 在120~150℃下蒸煮 15~30min。
- ④ 将煮过的木片磨成浆。

在第一阶段碱使半纤维素和无定形纤维素润胀, 第二阶段通过磺化木素, 使之由憎水变成亲水。所以这方法兼备了冷碱法和传统亚硫酸盐法CTMP的优点。

有一种碱性亚硫酸盐法CTMP, 它将碱和亚硫酸盐一并加到第一段中。在有亚硫酸盐存在的情况下, 碱的润肤作用必须在较高的温度下才有效。而且由于 pH 较高, 磺化作用受到影响。而 Mead 的两段法则可以获得磨浆电耗低, 成浆白度高和强度大等优点。而且灵活性较大, 可以获得白度高、不透明度大的浆, 也可以得到强度大的浆。

图7-3-59为主要变数对磨浆电耗的影响。表明第一段碱的浓度比第二段亚硫酸盐/亚硫酸氢盐的浓度对电耗有更大的影响。实际上这两种化学品能起反应, 因此, 提高用碱量能降低磨浆电耗, 而提高亚硫酸盐/亚硫酸氢盐浓度则会增大磨浆电耗。所以当其它变数保持在中点时, 以用碱量高 (7%)、SO<sub>2</sub> 浓度低 (1.5%) 时磨浆电耗最低。

表7-3-15为改变某个变数时, 对纸浆质量和磨浆电耗的影响。

从图7-3-60中可以看出影响纸浆得率的主要变数是蒸煮温度和第二段SO<sub>2</sub>用量。但总的说来这些变数对得率的影响都不很大。当用碱量由3%提高到7%, 亚硫酸盐 (以 SO<sub>2</sub> 计) 由1.5%提高到3.5%时, 纸浆得率仅下降3.4%。

表 7-3-15 Mead 两段CTMP 的变数对纸浆质量及电耗的影响

第一段 用碱量 (% NaOH)	第二段 SO <sub>2</sub> (%)	温度 (°C)	Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> NaHSO <sub>3</sub>	pH	终点 磨电 (MJ/kg)	浆耗	得率 (%)	白度 (% ISO)	游离度 (mL)	(mN· m <sup>2</sup> /g)	耐破指数 (kPa· m <sup>2</sup> /g)	拉张指数 (N·m/g)	松厚度 (cm <sup>3</sup> /g)	光散射系数 (m <sup>2</sup> /kg)
自变量: 第一段用碱量														
3	2.5	140	0.5	4.7	4.02	90.3	47.2	140	3.17	0.94	25	2.41	49.2	
4	2.5	140	0.5	5.3	3.41	89.9	45.5	140	4.45	1.31	31.1	2.18	46.9	
5	2.5	140	0.5	5.8	3.01	89.6	43.8	140	5.33	1.68	35.9	1.98	44.5	
6	2.5	140	0.5	6.2	2.73	89.2	42.1	140	5.8	2.04	39.6	1.81	42.2	
7	2.5	140	0.5	6.5	2.6	88.9	40.4	140	5.86	2.41	41.9	1.67	39.8	
自变量: 第二段SO <sub>2</sub> 用量														
5	1.5	140	0.5	6.1	2.77	90.4	41.5	140	5.93	1.81	38.2	2.01	45.1	
5	2	140	0.5	5.8	2.86	90.2	42.7	140	5.51	1.68	36.4	1.99	44.8	
5	2.5	140	0.5	5.8	3.01	89.6	43.8	140	5.33	1.68	35.9	1.98	44.5	
5	3	140	0.5	5.8	3.22	88.6	45	140	5.4	1.78	36.9	1.99	44.3	
5	3.5	140	0.5	6.2	3.5	87.4	46.2	140	5.7	2.01	39.4	2.02	44	
自变量: 第二段温度														
5	2.5	120	0.5	6.2	3.58	91.1	45.1	140	4.91	1.38	31.3	2.23	48.4	
5	2.5	130	0.5	6	3.31	90.4	45	140	5.11	1.53	33.6	2.1	45.6	
5	2.5	140	0.5	5.8	3.01	89.6	43.8	140	5.33	1.68	35.9	1.98	44.5	
5	2.5	150	0.5	5.5	2.67	88.5	41.7	140	5.57	1.82	38.3	1.83	43.3	
5	2.5	160	0.5	5.2	2.3	87.2	38.6	140	5.84	1.97	40.6	1.73	41.8	



第一段 用碱量 (% NaOH)	第二段 SO <sub>2</sub> (%)	第二段 温度 (°C)	第二段 Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> / NaHSO <sub>3</sub>	终 点 pH	磨 电 (MJ/kg)	浆 耗 (%)	得 率 (%)	白 度 (% ISO)	游离度 (mL)	撕裂指数 (mN·m <sup>2</sup> /g)	耐破指数 (kPa·m <sup>2</sup> /g)	拉张指数 (N·m/g)	松厚度 (cm <sup>3</sup> /g)	光散射系数
自变量: 第二段Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> /NaHSO <sub>3</sub> 比率														
5	2.5	140	0.0	5.2	2.67	87.7	45.1	140	5.12	1.47	32.1	2.12	47	
5	2.5	140	0.25	5.4	3.03	89.1	44.5	140	5.17	1.54	33.8	2.05	45.8	
5	2.5	140	0.5	5.8	3.01	89.6	43.8	140	5.33	1.68	35.9	1.98	44.5	
5	2.5	140	0.75	6.3	2.6	89.1	43	140	5.61	1.87	38.6	1.91	43.3	
5	2.5	140	1	7	1.8	87.8	42.1	140	6	2.14	41.8	1.84	42.1	
自变量: 浆料游离度														
5	2.5	140	0.5	5.8	2.25	89.6	44.2	240	5.45	1.37	34.3	2.07	45.5	
5	2.5	140	0.5	5.8	2.67	89.6	44	190	5.4	1.51	34.9	2.03	44.5	
5	2.5	140	0.5	5.8	3.01	89.6	43.8	140	5.33	1.68	35.9	1.98	44.5	
5	2.5	140	0.5	5.8	3.29	89.6	43.4	90	5.23	1.89	38.1	1.9	45.1	
5	2.5	140	0.5	5.8	3.31	89.6	41.9	40	5.06	2.34	45.6	1.76	38.3	

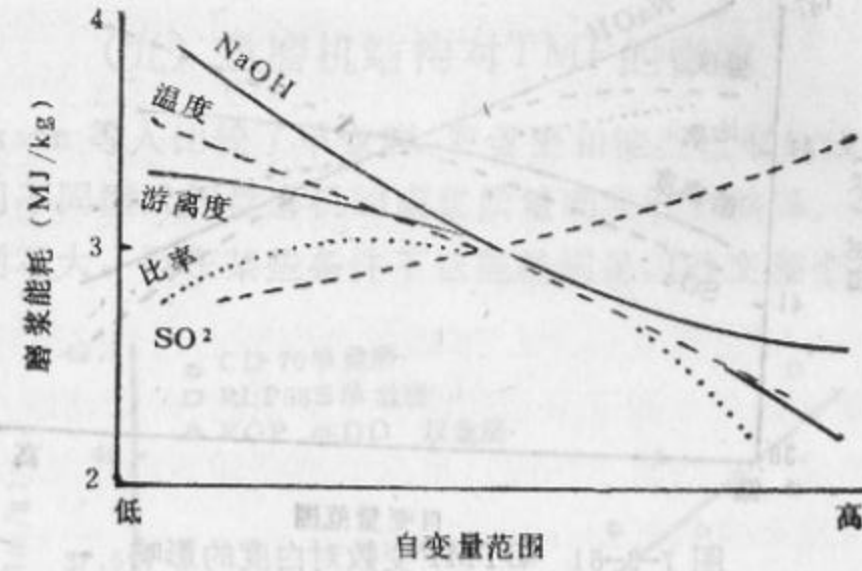


图 7-3-59 CTMP变数对磨浆电耗的关系

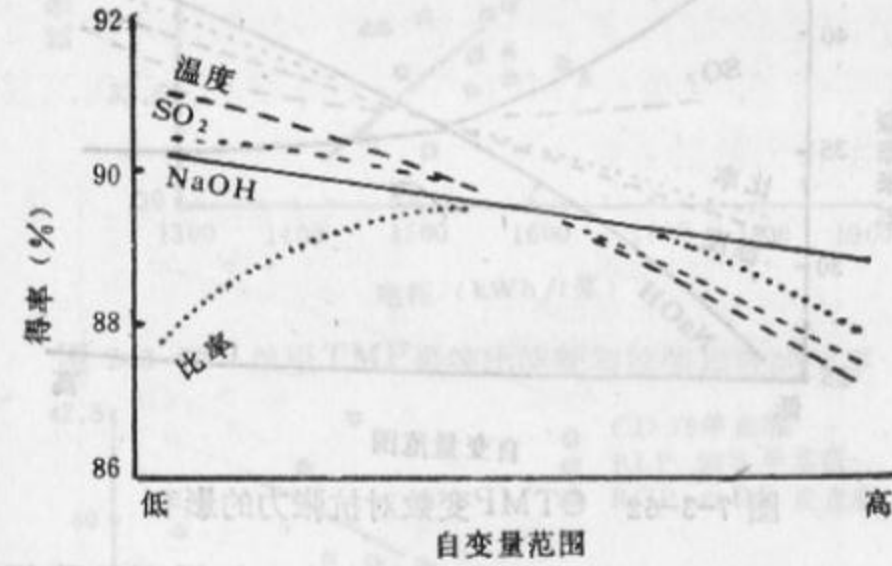


图 7-3-60 CTMP变数对得率的影响

从图7-3-61可以看出提高第二段的温度和第一段的用碱量会较大幅度降低白度，而提高SO<sub>2</sub>用量，特别是以亚硫酸氢盐的形式，则能提高白度。

从表7-3-15及图7-3-62可以看出，第一段的用碱量对所有强度指标都有很大影响。如当其它变数都保持在中点，而用碱量从3%提高到7%时，撕裂度可提高85%，抗张强度提高68%，耐破度提高158%。亚硫酸盐/亚硫酸氢盐的影响则不太明显。当其

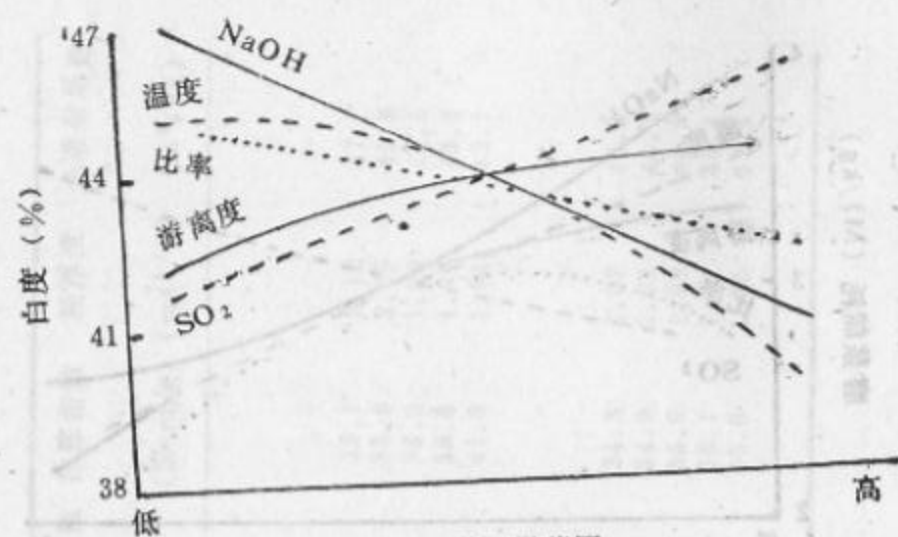


图 7-3-61 CTMP变数对白度的影响

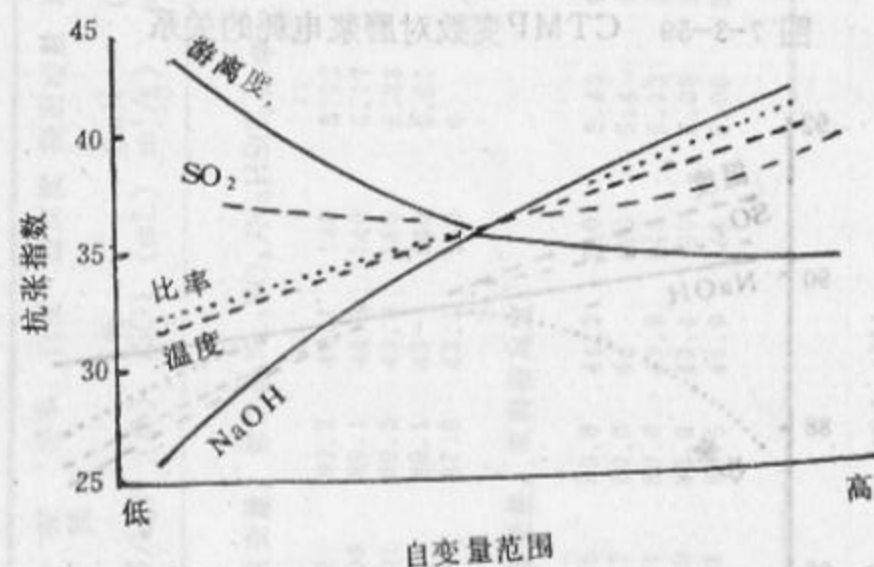


图 7-3-62 CTMP变数对抗张力的影响

它变数保持在中点，而第二段的亚硫酸盐全部用亚硫酸氢盐代替时，抗张强度下降23%。

和白度一样，第二段的pH值对强度也有很大影响。在pH5~8范围内，浆的强度随着pH的提高而提高。当第二段的pH高于7时，两段的化学品浓度都最大时，纸浆强度最高。

光散射系数和抗张强度及耐破度有密切关系。提高这些强度相应地会降低光散射系数。但光散射系数的变化不如强度变化那么大。比如提高碱液浓度后，耐破度提高158%，而光散射系数仅下降19%。

### (九) 盘磨机结构对TMP的影响

Jackson 等人比较了单盘磨、双盘磨和锥型盘磨的成浆性质，结果表明不同型式的盘磨机的成浆质量确实有些差异，尽管有时这些差别不大，但在某些条件下这些差别足以改变整个系统的设计。

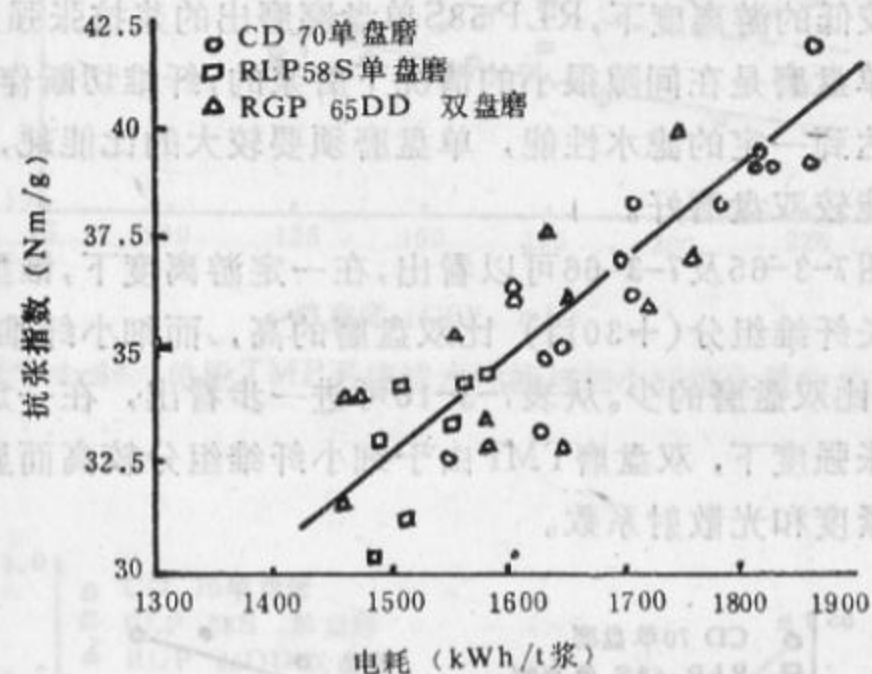


图 7-3-63 单段TMP系统比能耗与抗张指数的关系

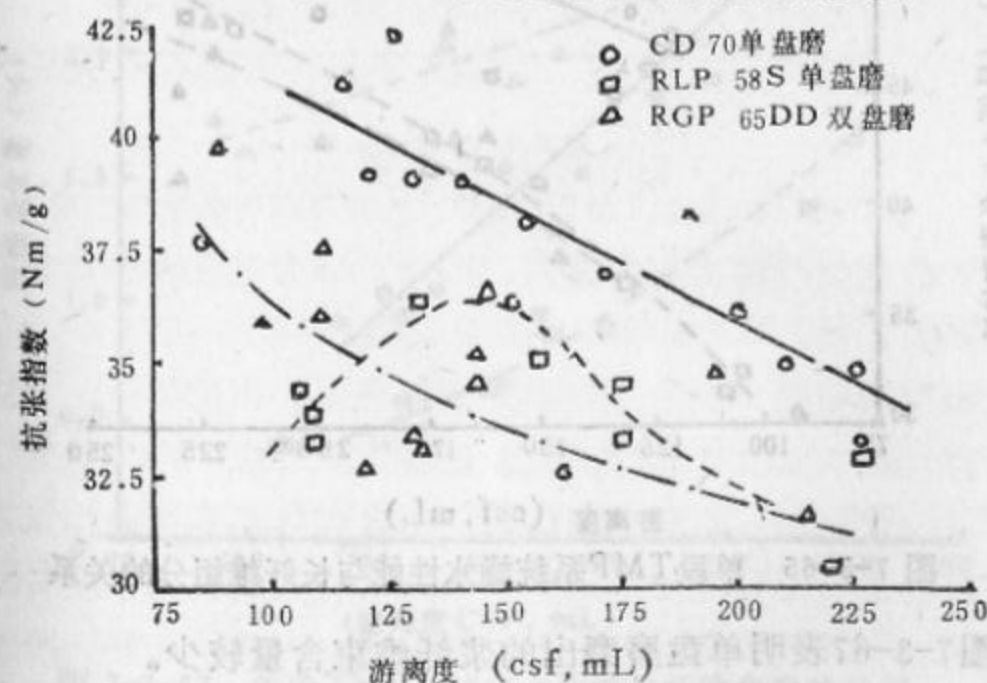


图 7-3-64 单段TMP系统滤水性能与抗张指数的关系



这三种盘磨机的比能耗和成浆抗张强度的关系如图7-3-63所示。可以看出,抗张强度是唯一的与盘磨机型式无关的比能耗的函数。但是如果抗张强度是以浆料的滤水性能为基础进行比较时,显然,在一定抗张强度下,以单盘磨获得的TMP比双盘磨的TMP有高得多的滤水能力,见图7-3-64。

在较低的游离度下,RLP 58S单盘磨磨出的浆抗张强度很低,说明这单盘磨是在间隙很小的情况下磨浆的,纤维切断作用较大。说明要达到一定的滤水性能,单盘磨须要较大的比能耗,但整个结合性能较双盘磨好。

从图7-3-65及7-3-66可以看出,在一定游离度下,锥型盘磨机成浆的长纤维组分(+30目)比双盘磨的高,而细小纤维组分(-200目)比双盘磨的少。从表7-3-16可进一步看出,在一定的比能耗和抗张强度下,双盘磨TMP由于细小纤维组分较高而显示出有较大的紧度和光散射系数。

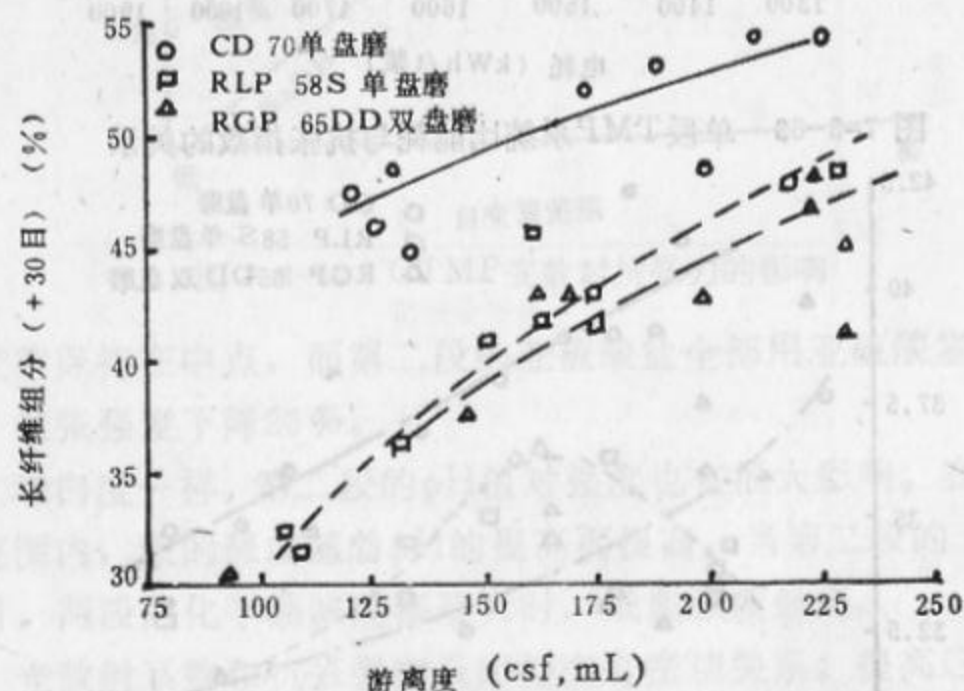


图 7-3-65 单段TMP系统滤水性能与长纤维组分的关系

图7-3-67表明单盘磨磨出的浆纤维束含量较少。

由于锥型盘磨机磨出的浆长纤维组分较高,因此,湿纸强度

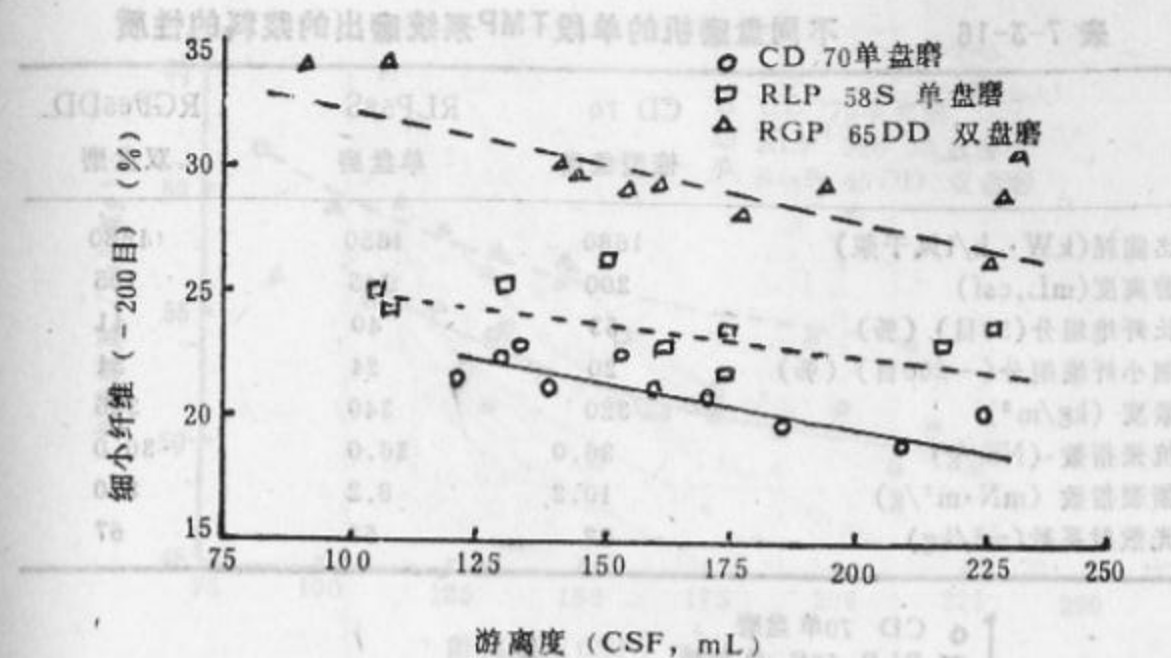


图 7-3-66 单段TMP系统滤水性能与细小纤维含量的关系

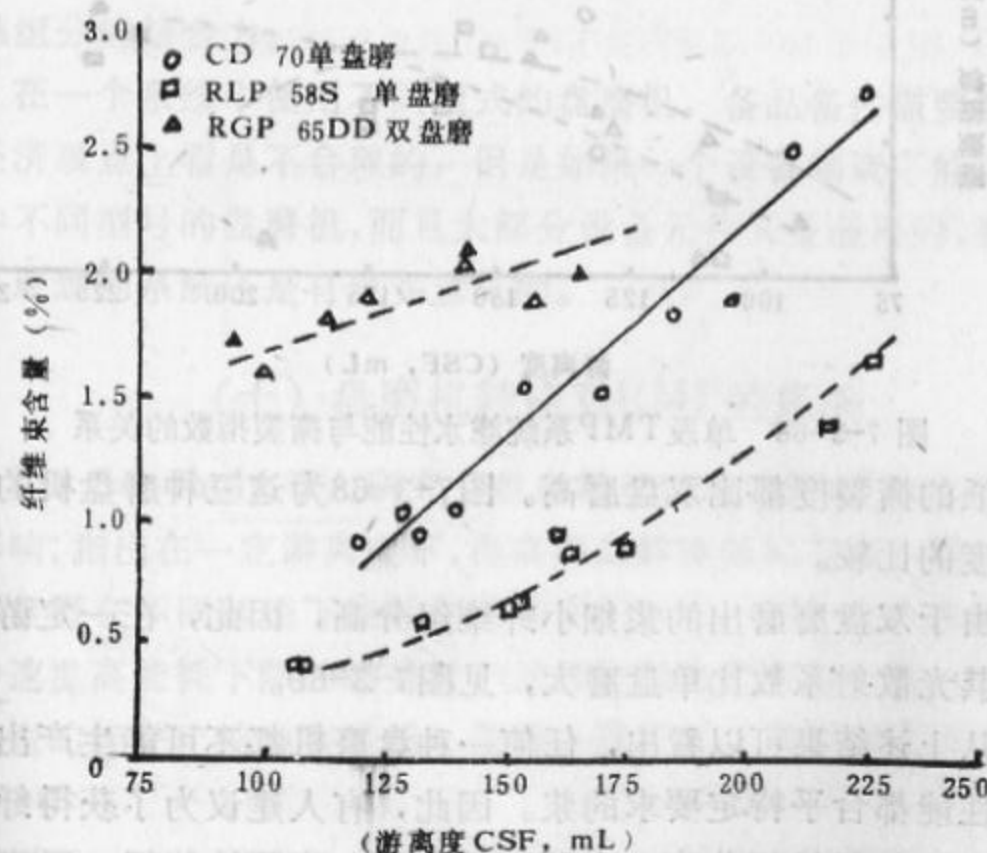


图 7-3-67 单段TMP系统滤水性能与纤维含量的关系

表 7-3-16 不同盘磨机的单段TMP系统磨出的浆料的性质

	CD 70 锥型盘磨	RLP58S 单盘磨	RGP65DD 双盘磨
比能耗(kW·h/t风干浆)	1680	1650	1680
游离度(mL, csf)	200	145	105
长纤维组分(30目)(%)	53	40	41
细小纤维组分(-200目)(%)	20	24	31
紧度(kg/m <sup>3</sup> )	320	340	355
抗张指数(Nm/g)	36.0	36.0	30.0
撕裂指数(mN·m <sup>2</sup> /g)	10.2	8.2	8.0
光散射系数(m <sup>2</sup> /kg)	52	53	57

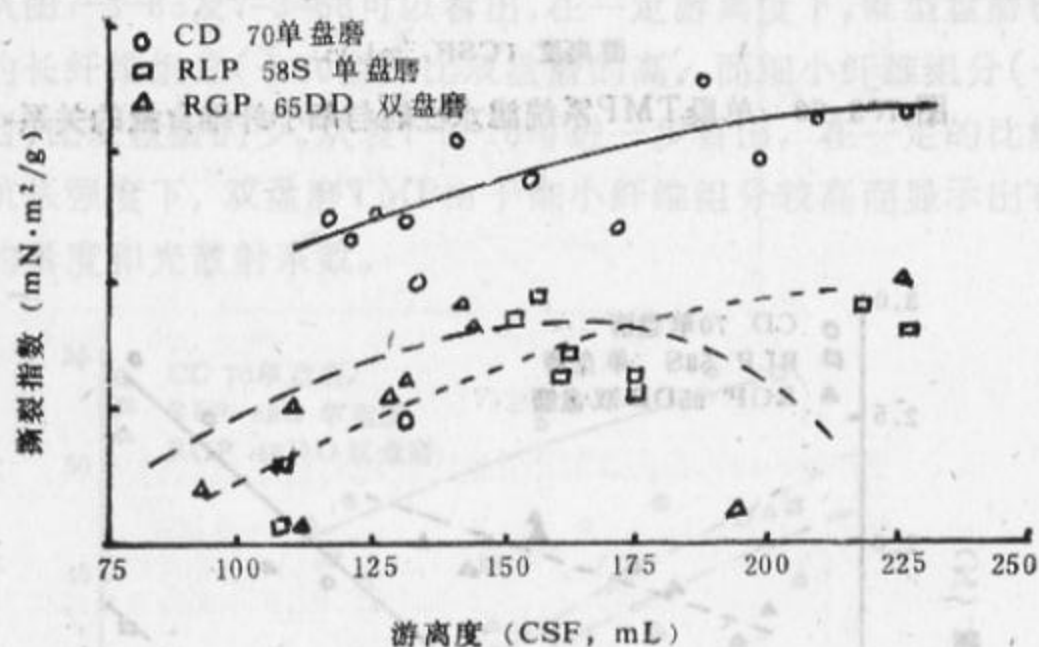


图 7-3-68 单段TMP系统滤水性能与撕裂指数的关系

和干纸的撕裂度都比双盘磨高。图7-3-68为这三种磨盘机的成浆撕裂度的比较。

由于双盘磨磨出的浆细小纤维组分高，因此，在一定游离度下，其光散射系数比单盘磨大，见图7-3-69。

从上述结果可以看出，任何一种盘磨机都不可能生产出所有物理性能都合乎特定要求的浆。因此，有人建议为了获得纤维束含量低，长纤维组分少，光散射系数高，表面性能好，紧度大的适合于生产低定量涂布纸原纸的浆，可以在第一段用双盘磨而第

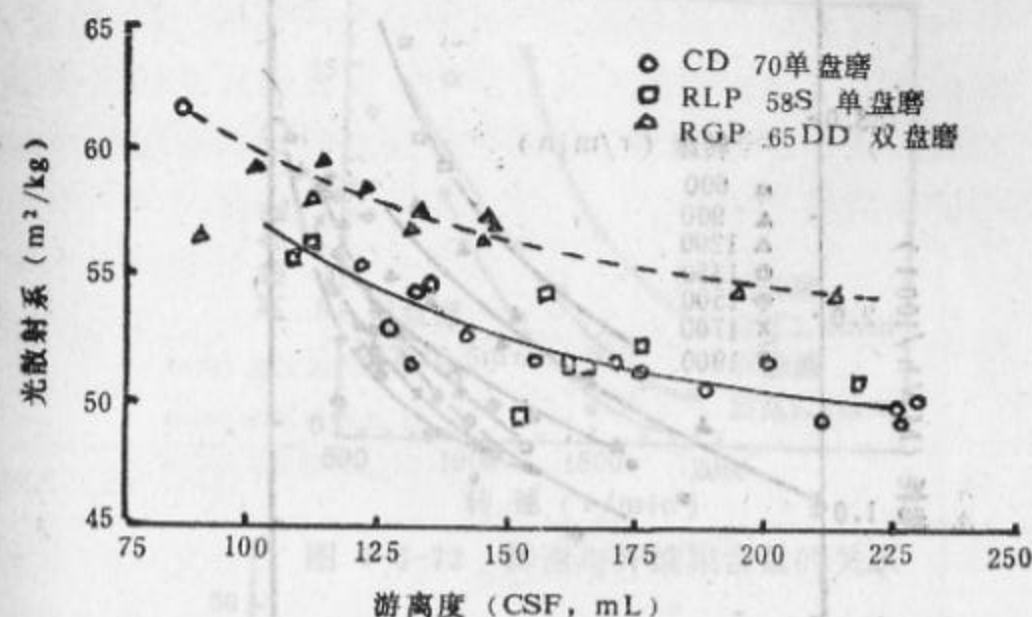


图 7-3-69 单段TMP系统滤水性能与光散射系数的关系

二段用单盘磨的系统。这样在第一段可以调节长纤维组分含量，发展细小纤维组分，而在第二段消除纤维束同时发展中等长度的纤维组分的结合力。

在一个系统中使用不同型式的盘磨机，备品备件需要量大，从经济观点上看是不合理的，但是如果一个设备制造厂能供应这两种不同型号的盘磨机，而且大部分设备元件又是通用的，那么，这一理想的系统还是有现实意义的。

#### (十) 盘磨机转速对RMP的影响

Jan Sundholm等人研究了盘磨机的转速对RMP的生产过程的影响，指出在一定游离度下，提高磨盘转速能耗下降。图7-3-70为双盘磨在不同转速下能耗与游离度的关系。图7-3-71表示这种随转速提高能耗下降的趋势对于双盘磨和单盘磨都一样。双盘磨粗齿型的能耗比细齿型略低；在同一速度下，双盘磨能耗比单盘磨低。

图7-3-72为纤维束含量和磨盘转速的关系。可以看出随着磨盘转速的提高，纤维束明显下降，双盘磨的纤维束比单盘磨少，



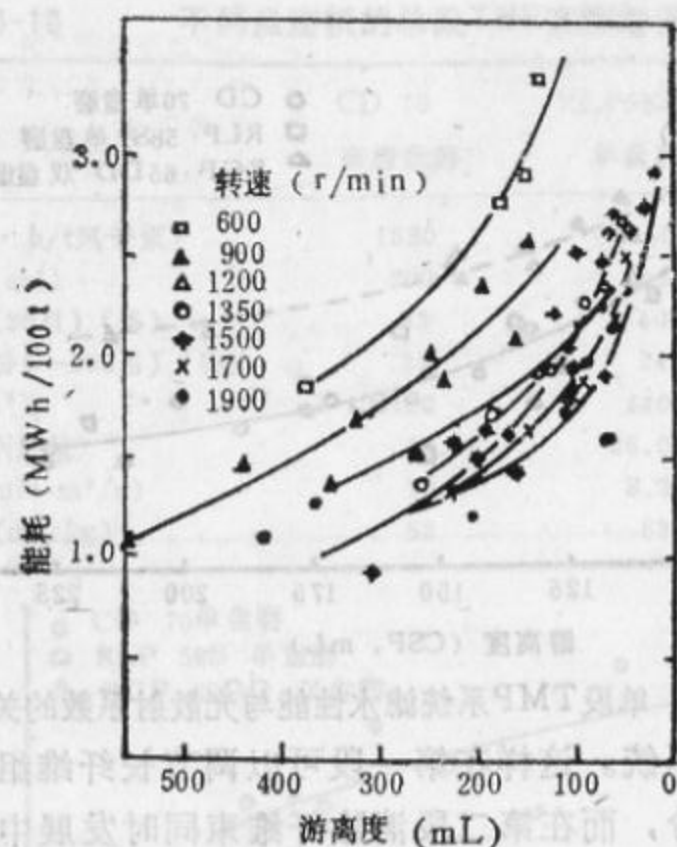


图 7-3-70 不同转速下PRMP的电耗与游离度的关系

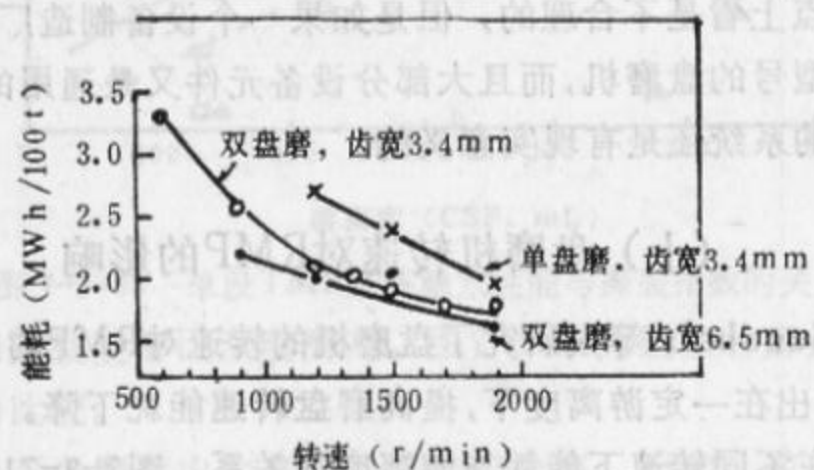


图 7-3-71 不同盘磨机转速与能耗的关系

而双盘磨中粗齿磨盘的纤维束较少。

图7-3-73表明提高磨盘转速，长纤维含量有所下降。单盘磨生产出的浆长纤维含量最高，细齿磨盘对纤维长度的影响比粗齿磨盘小。

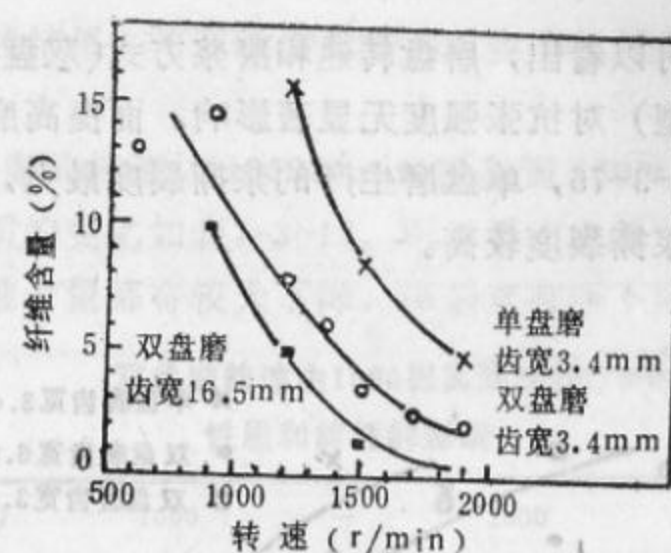


图 7-3-72 转速与纤维束含量的关系

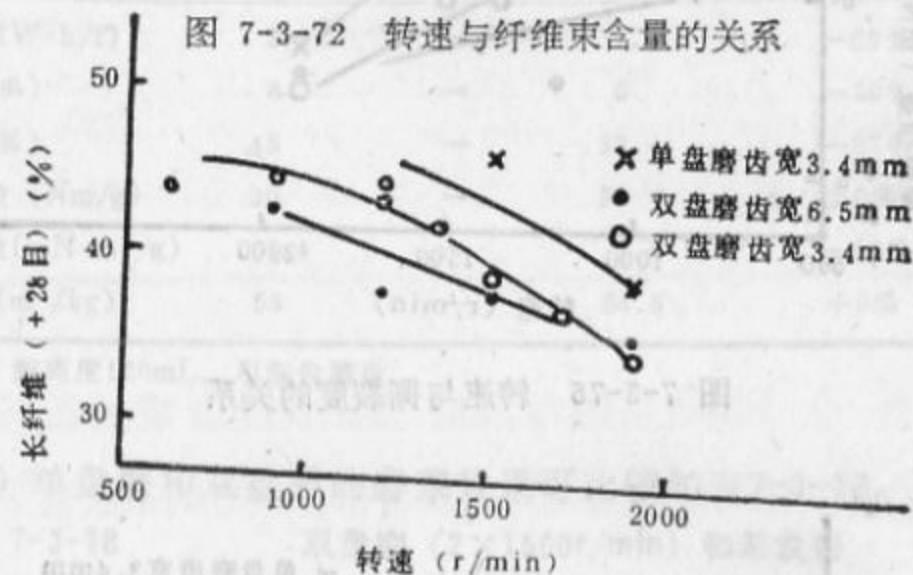


图 7-3-73 转速与长纤维含量的关系

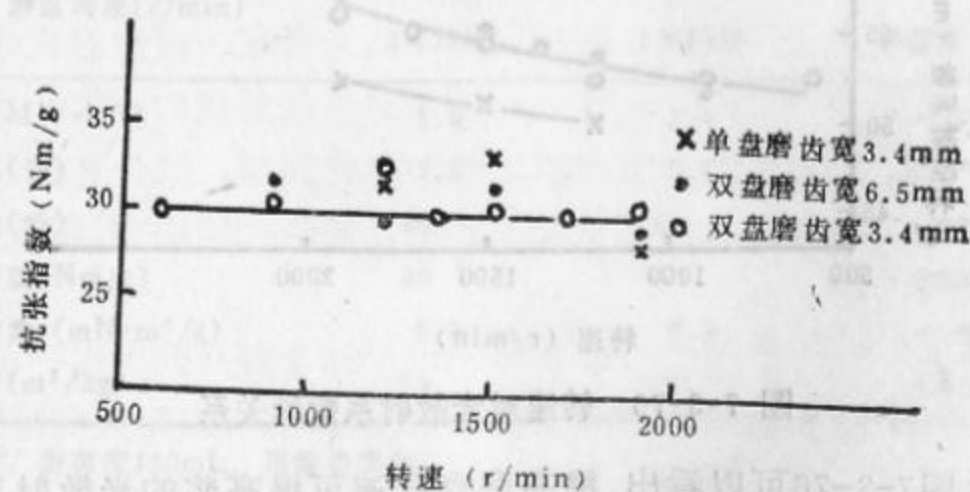


图 7-3-74 转速对抗张力的关系

图7-3-74可以看出,磨盘转速和磨浆方式(双盘磨或单盘磨,粗齿型或细齿型)对抗张强度无显著影响。而提高磨盘转速撕裂度下降,如图7-3-75,单盘磨生产的浆撕裂度最大,双盘磨中细齿磨盘磨出的浆撕裂度较高。

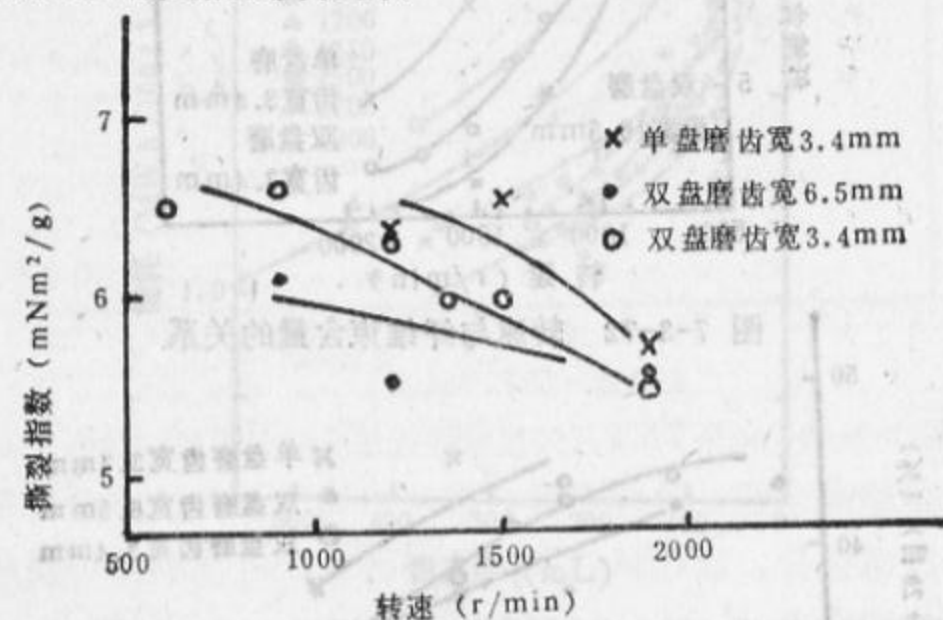


图 7-3-75 转速与撕裂度的关系

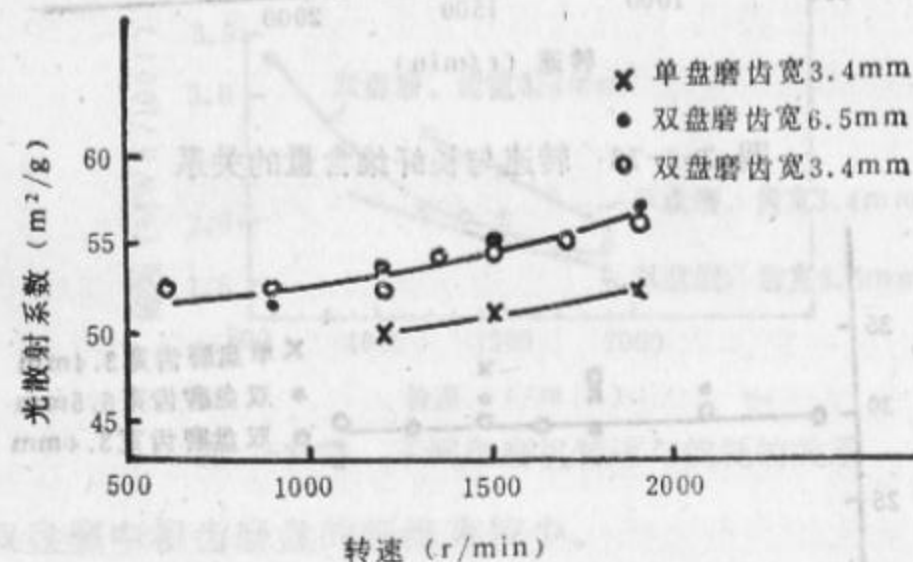


图 7-3-76 转速对光散射系数的关系

从图7-3-76可以看出,提高磨盘转速可提高浆的光散射系数,双盘磨生产出的浆的光散射系数比单盘磨的浆高3~4个单位。

根据上述结果,可以就磨盘转速对盘磨机械浆生产的影响归纳如下:

① 双盘磨的转速从1000r/min 提高到2000r/min 时磨浆能耗和纤维性质的变化如表7-3-17。可以看出电耗可降低30%,纤维束和长纤维含量都有较大下降,撕裂度有所下降。

表 7-3-17 双盘磨转速由1000提高到2000r/min对浆料性质和能耗的影响

磨盘转速(r/min)	1000	→	2000	+100%
能耗 (MW·h/t)	2.4	→	1.7	-29%
纤维束(%)	8	→	5	-30%
长纤维(%)	45	→	33	-27%
张力指数 (Nm/g)	30	→	30	±0%
撕裂指数(mN·m²/g)	6.4	→	5.4	-16%
光散射 (m²/kg)	53	→	54.8	+9%

注: 游离度120mL, 用细齿磨盘。

② 单盘磨和双盘磨的磨浆效果可比较如表7-3-18。

表 7-3-18 双盘磨 (2×1500r/min) 和单盘磨 (1×1500r/min) 比较

磨盘转速(r/min)	双盘磨 2×1500	单盘磨 1×1500	双盘磨比 单盘磨
能耗 (MW·h/t)	1.9	2.4	-21%
纤维束(%)	7.5	9.5	-21%
长纤维(%)	40	44	-9%
张力指数(Nm/g)	30	30	±0%
撕裂指数 (mN·m²/g)	5.9	6.3	-6%
光散射 (m²/kg)	55	51	+8%

注: 游离度120mL, 用细齿磨盘。

在磨盘转速的绝对值相同时,单盘磨的能耗比双盘磨高,而



单盘磨生产出的浆长纤维含量较高,撕裂度较大。

③ 表7-3-19表明将磨盘齿数增加一倍以提高冲击频率时,能耗增大,这和用提高磨盘转速来提高冲击频率的效果相反。

表 7-3-19 双盘磨的磨盘齿数增加一倍时的效果  
(转速 $2 \times 1500 \text{ r/min}$ )

磨齿宽(mm)	6.5	→	3.4	
冲击频率(kHz)	14	→	28	+100%
能耗(MW·h/t)	1.8	→	1.9	-6%
纤维束(%)	5.5	→	7.5	-36%
长纤维(%)	38	→	40	-5%
张力指数(Nm/g)	30	→	30	±0%
撕裂指数( $\text{mN} \cdot \text{m}^2/\text{g}$ )	5.8	→	5.9	-2%
光散射( $\text{m}^2/\text{kg}$ )	55	→	55	±0%

### (十一) TMP 系统单段磨浆和多段磨浆的比较

目前最常用的磨浆系统为两段磨浆,但有的系统也采用单段磨浆或三段磨浆的。

理论上说盘磨机械浆的生产包括两个基本过程,先是将木片转化成单根纤维,然后是单根纤维的微纤维化。这两个过程所要求的磨浆条件是不同的,因此,有人认为要在一段盘磨机中完成这两个过程是困难的,这就是必须采用两段系统的原因。

采用两段或多段串联磨浆可加大磨盘间隙,减少磨损,降低负荷波动,使磨区能得到更好的利用,进料也较均匀,质量稳定,但动力消耗较大。

在两段磨浆系统中,通常第一段用两台磨并列供应一台同样型号的二段磨。在第一段磨中原料是疏松的,可以用大间隙磨浆,磨浆后,浆料密度增加,在二段磨磨浆时应缩小磨盘间隙。

也有的系统两段都用一台同样型号的磨,而将筛选出来的粗

渣送入二段磨再磨,而不单独设置粗渣盘磨机。

两段磨浆系统输入功率的分配:实践表明,如果未经预热,第一段磨浆的功率消耗不得小于 $36.8 \sim 44.1 \text{ kW} \cdot \text{d/t}$ 浆,而且,第一段所用动力愈多成浆质量愈好,木片经预热时情况也是如此。

采用单段磨浆时,需要输入高的功率,这容易对盘磨机产生过高的应变。此外,单段磨浆意味着通过量低,也难保持流量均

表 7-3-20 TMP和CTMP多段磨浆过程中长纤维和细小纤维组分的变化

TMP				
磨浆段数	1	2	3	
游离度(csf, mL)	565	205	75	
纤维筛分(%)				
(Bauer McNett)				
+30	47.4(-9.3)	38.1(-7.9)	30.2	
+50	19.8	20.4	19.6	
+100	8.1	9.2	9.5	
-100	24.7(+7.6)	32.3(+8.4)	40.7	
1 段至 3 段				
+30组分变化	=-17.2%			
-100组分变化	=+16.0%			
CTMP				
磨浆段数	1	2	3	4
游离度 (csf, mL)	725	500	205	105
纤维筛分(%)				
(Bauer McNett)				
+30	64.7(-6.7)	58.0(-7.8)	50.2(-5.4)	44.8
+50	16.2	16.2	16.2	15.9
+100	5.8	5.8	5.2	6.1
-100	13.3(+6.7)	20.0(+8.4)	28.4(+4.8)	33.2
1 段至 4 段				
+30组分变化	=-19.9%			
-100组分变化	=+19.9%			

匀, 因此喂料更加重要了。

有人建议生产游离度较低的供生产高级文化用纸和低定量涂布纸的浆料宜采用三段磨浆, 使浆分段均匀磨细, 有利保证其强度。

从表7-3-20中可以看出, 随着磨浆段数的增加粗纤维组(+30)的减少和细小纤维组分的增加非常接近。

### 三、盘磨机械浆的性质

盘磨机械浆的性质主要取决于材种、磨浆过程及化学处理条

表 7-3-21

北美针叶木RMP和GW的性质

树 种	浆 种	游离度	撕裂指数	耐破指数	裂断长	松厚度	纤维筛分(%) (Bauer-Mcnett)		
							+24	-24 +170	-170
西部铁杉	RMP	85	9.3	2.1	3700	3.04	28.1	39.3	32.6
	GW	106	5.0	1.4	3000	2.72	13.6	48.2	38.2
Sitka云杉	RMP	73	9.7	2.5	4300	2.85	33.1	34.1	32.8
	GW	100	6.0	1.4	3400	2.60	22.0	44.5	44.5
白云杉	RMP	110	9.8	2.3	3610	2.96	34.0	39.5	26.5
	GW	82	5.2	1.6	3150	2.62	18.2	46.0	35.8
香脂冷杉	RMP	94	9.6	2.2	3970	3.02	32.7	41.0	26.3
	GW	99	6.2	1.9	3690	2.54	22.5	46.9	30.6
美国黑松	RMP	142	8.1	1.5	3210	3.31	32.6	43.3	24.1
	GW	96	4.6	1.3	3800	2.75	16.2	46.6	37.2
黑云杉	RMP	101	8.4	1.8	3200	2.65	—	—	—
	GW	115	5.6	1.2	2900	2.40	—	—	—
东部云杉	RMP	58	6.7	3.2	5700	—	—	—	—
	GW	63	3.6	1.7	3800	—	—	—	—
斑克松	RMP	124	9.7	2.0	3900	2.80	—	—	—
	GW	100	4.3	0.8	3200	2.65	—	—	—
铁杉/香脂冷杉 80/20	RMP	90	12.0	1.9	3500	—	—	—	—
	GW	70	6.0	1.4	3000	—	—	—	—
火炬松	RMP	100	7.2	1.0	3900	2.63	—	—	—
	GW	90	3.8	0.4	2000	2.45	—	—	—

件。其它参数如木片质量、磨浆浓度和压力等对浆料性质也有很大影响, 本节主要说明几种常用树种, 以不同的磨浆方法所能达到的质量指标, 过程参数对浆料性质的影响可参看本书其他部分。

### (一) 盘磨机械浆(RMP)的性质

几种主要针叶木 RMP 浆的性质列于表7-3-21。作为对比, 表中也列出了磨石磨木浆的对应指标。

很明显 RMP 的强度比磨石磨木浆高得多。因此有的工厂使用粗锯末制取 RMP 浆, 生产新闻纸和纸板芯层。表7-3-22为某厂用62%木片、40%锯末制取 RMP 生产新闻纸, 使化学浆配比由原来用磨石磨木浆时的25%, 降到22%, 对生产无不利影响。

表 7-3-22

GW和RMP抄造新闻纸性能比较

	美国西岸典型GW		RMP新闻纸	
	新闻纸	100%木片RMP	40%锯末RMP 60%木片RMP	
硫酸盐浆(%)	25	20	15	22
松厚度指数	100	105	106	103
耐破度(%)	37	45	44	45
撕裂度(g)纵向	28	33	28	31
	42	51	44	48
抗张力(N/mm)纵向	24.8	30.1	28.7	31.0
	10.6	11.2	10.8	11.5
伸长率(%)	纵向	1.1	1.3	1.3
	横向	2.0	2.4	2.4
耐折度 MIT	纵向	20	43	43
	横向	5	7	5
不透明度(%)	90	89.0	90.0	90.5

阔叶木纤维短, 不适于用 RMP 法制浆, 但可用化学品, 主要是 $\text{Na}_2\text{SO}_3$ 或 $\text{NaOH}$ 浸渍没在常压磨成浆, 称 CRMP。几种阔叶木和锯末 CRMP 的性质列于表7-3-23及7-3-24。



表 7-3-23

阔叶木CRMP的性质

	白杨	白桦	黄桦	红槭	糖槭
NaOH用量(%)	1.2	2.1	1.9	1.8	4.3
Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> 用量(%)	1.3	1.7	2.8	2.5	0
能耗(kW·h/t绝干浆)	1575	1378	1575	1772	1772
游离度(csf, mL)	95	67	80	83	125
松厚度	2.5	2.8	2.7	2.6	2.8
耐破指数	1.2	1.3	1.6	1.2	0.7
撕裂指数	4.3	3.9	4.9	2.7	2.2
裂断长	—	3000	3500	2700	2000
纤维束含量(%)	0.4	0.8	0.2	0.3	0.2
白度	54	58	43	46	36
不透明度	95	94	96	96	98

表 7-3-24

锯末CRMP的性质

	RMP	CRMP	
		(1)	(2)
Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> 吸收量%	0	0.7	4.4
电耗(kW·h/t绝干浆)	1485	1606	1628
游离度(csf, mL)	88	108	153
耐破指数	1.6	1.9	2.2
撕裂指数	6.2	7.0	7.5
裂断长	3200	4000	4700
松厚度	2.54	2.38	2.19
白度	52.0	54.0	54.0
不透明度	93.5	97.0	96.5

(1)常压, 78℃, 30min.

(2)压力 550kPa, 78℃, 15min.

## (二) 热磨机械浆(TMP)的性质

和 RMP 相比, TMP 的强度高, 纤维束含量低, 松厚度大, 如表7-3-25。

几种主要针叶木的 TMP 浆的性质比较如表7-3-26, 可以看出云杉和冷杉较好, 而东部铁杉强度较差。南美和南非几种针叶

黑云杉TMP、RMP和GW性能比较

表 7-3-25

	种		浆	
	A	B	A	B
电耗(kW·h/t绝干浆)	1810	1790	1830	1890
游离度(mL, csf)	98	106	82	99
松厚度	2.58	2.18	2.55	2.19
耐破指数	1.6	2.8	2.1	3.0
撕裂指数	9.4	9.1	8.4	9.0
裂断长	3530	5340	4080	5400
伸长度(%)	2.0	2.5	2.0	2.6
T.E.A	1.87	3.45	2.21	3.75
白度	56.1	58.1	56.9	59.4
不透明度	97.2	93.8	97.5	96.5
纤维束(%)	0.65	0.07	0.70	0.09
纤维组分(%)				
+14	5.2	15.6	9.0	16.4
+28	20.2	20.5	20.0	19.0
+48	25.5	18.9	22.3	18.7
+100	13.0	9.1	11.5	8.8
+200	8.0	6.6	8.2	6.8
-200	28.1	29.3	39.0	30.3
				31.2

表 7-3-26

几种针叶木TMP的性质

树 种	黑云杉	栎克松	东部落叶松	香脂冷杉	美国黑松	东部铁杉	白松	红松
电耗(kW·h/t绝干浆)	1700	1812	1654	—	2166	1969	1812	1989
游离度(mL, csf)	99	104	108	90	78	107	109	79
松厚度	2.19	2.57	2.86	2.36	2.59	2.84	2.50	2.63
耐破指数	3.0	1.7	1.6	3.0	2.9	1.5	2.2	2.0
撕裂指数	9.0	11.2	9.0	8.2	10.2	8.7	9.3	10.4
裂断长	5400	3940	3000	4970	4530	1780	4710	4290
伸长率(%)	—	—	1.6	2.6	2.5	1.2	2.1	2.2
白度	59.4	59.5	41.6	54.5	58.7	45.2	57.3	61.1
不透光度	96.5	94.3	97.6	97.0	94.5	99.4	95.3	93.3
纤维束	0.09	0.04	0.84	0.44	0.12	0.09	0.08	0.01

表 7-3-27

几种南美和南非松木的TMP性质

树 种	黑云杉											
	智利	巴西	阿根廷	南非	南非	南非	南非	南非	南非	南非	南非	南非
	辐射松	火炬松	湿地松	火炬松	火炬松	火炬松	火炬松	火炬松	火炬松	火炬松	火炬松	火炬松
电耗(kW·h/t绝干浆)	2360	2550	2640	2668	2925	2350	2970	2560	3150	2950		
游离度(mL, csf)	100	80	80	107	89	150	100	150	100	100		
纤维束	0.30	0.45	0.41	0.30	0.32	0.24	0.36	0.20	0.36	0.20	0.20	0.20
紧度(kg/cm³)	355	375	345	310	325	240	270	265	300	270		
耐破指数(kPa·m²/g)	2.50	2.30	1.45	1.50	1.28	1.50	0.80	1.20	1.30	1.70	1.2	
抗张指数(Nm/g)	42.0	43.5	29.5	27.0	32.0	22.0	29.0	29.0	35.0	29.0		
撕裂指数(mN·m²/g)	9.5	9.2	8.1	7.4	8.0	5.1	5.7	6.7	6.7	6.0		
白度(%)	51.5	51.0	56.4	58.5	58.0	57.5	58.0	54.0	54.0	58.0		
不透光度	92.5	93.0	92.5	89.5	90.5	—	—	—	—	—		
光散射系数(m²/g)	54.0	55.0	57.0	53.0	55.4	52.0	57.0	52.0	57.0	57.0	57.0	57.0



木TMP 浆的性质列于表7-3-27。

加拿大东部云杉林常有芽虫的侵害，于是对利用这些遭害而枯死的云杉的可能性进行了广泛的研究，结果汇总如表7-3-28。

表 7-3-28 正常云杉及受虫害而枯死的香脂冷杉TMP的性质

浆料性质	正常	枯死 3个月	枯死 一年	枯死 二年
游离度(csf, mL)	129	114	94	43
松厚度(cm <sup>3</sup> /g)	2.63	2.66	2.36	2.19
耐破指数(kPa·m <sup>2</sup> /g)	2.7	2.6	2.7	2.4
撕裂指数(mN·m <sup>2</sup> /g)	10.3	10.0	9.0	6.9
裂断长(km)	4.7	4.7	5.1	4.9
伸长率(%)	2.55	2.62	2.80	2.39
白度	56	52	49	48
不透明度	96	97	97	97
光散射系数	69.8	70.6	71.4	63.0
纤维束(%)	0.51	0.47	0.10	0.07
纤维组分(%)				
+14	17	16	4	2
+28	28	25	21	15
+48	18	18	17	15
+100	9	10	4	20
+200	6	7	3	14
-200	22	24	51	34
L因子	46	43	38	30

注：电耗8.5MJ/kg

结果表明用枯死时间不超过1年的云杉制取TMP，除白度和纤维长度较低外，其它指标无多大影响，但枯死时间超过2年的则强度大大下降。但也有人发现因芽虫的侵害而枯死的香脂冷杉5年以后仍可以生产出质量好的TMP。

虽然由于阔叶木纤维短不适合于生产TMP，但少量阔叶木和针叶木混合不会有很大影响，特别是密度较小的阔叶木，如表

表 7-3-29

阔叶木在TMP中的应用

材料	试验号	1	2	3
云杉/香脂冷杉		100	100	100
白杨		162	127	146
桦木		2.4	2.7	2.5
槭木		10.6	9.6	8.3
游离度		4640	4840	4360
耐破指数		2.50	2.72	2.69
撕裂指数		53	55	51.9
裂断长		0.56	0.39	0.59
松厚度		10.1	6.1	6.4
白度		21.4	21.9	23.9
纤维束		22.8	21.0	21.8
纤维组分(%)		12.1	13.2	13.0
+14		33.7	37.8	34.9
+28				34.0
+48				38.3
+100				39.2
-100				

7-3-29所示。一般认为在针叶木中加15~20%的杨木和白桦能生产出适合于新闻纸用的 TMP，而密度较大阔叶木比例不宜超过10%。

### (三) 化学热磨机械浆(CTMP)的性质

#### 1. 针叶木 CTMP

Axelsson 等人的研究表明，在一定的磨浆电耗下，要获得最大的抗张强度和光散射系数，浆料中亚硫酸盐含量必须认真选择，

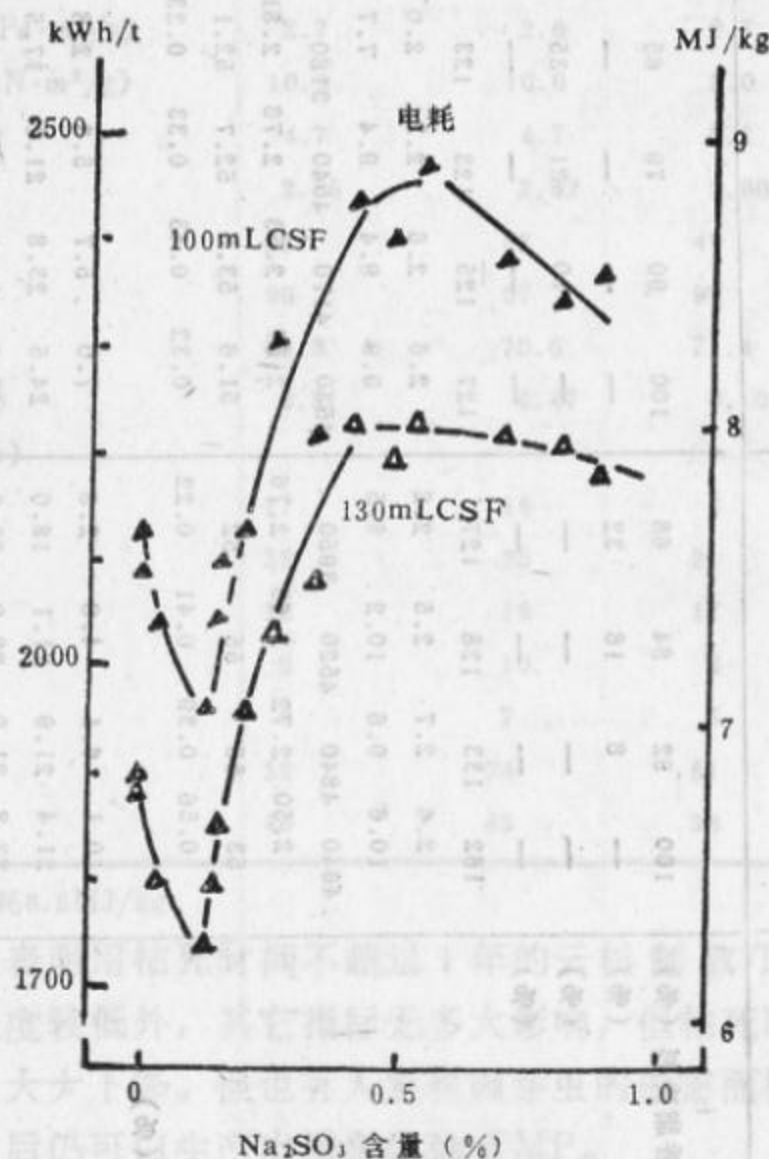


图 7-3-77 在一定游离度下浆料亚硫酸盐含量与电耗的关系  
△ 游离度130mL ▲ 游离度 100mL

一般云杉 CTMP 中亚硫酸盐含量以0.2%最好；80%云杉20%南方松的 CTMP 中亚硫酸盐含量以0.4%最好。

图 7-3-77 及 7-3-78 表示亚硫酸盐含量对云杉 CTMP 的电耗及光散射系数的影响。

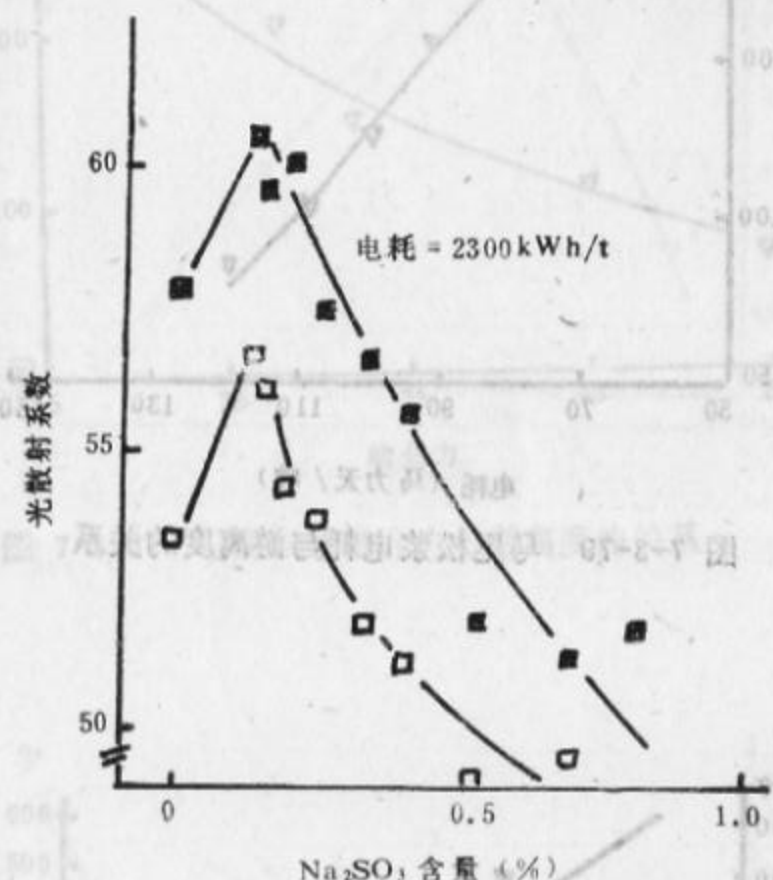


图 7-3-78 在一定电耗下浆料的亚硫酸盐含量与光散射系数的关系

□ 电耗 2000kW·h/t ■ 电耗 2300kW·h/t

美国Bauer 公司曾对我国南方主要造纸材种马尾松进行TMP 制浆研究，结果如图 7-3-79~7-3-91。其结论是：用马尾松 TMP 及粗渣磺化处理完全可以生产出适合于抄造新闻纸用的纸浆。

几种针叶木 CTMP 的性质列于表 7-3-30。

瑞典 Sunds Defibrator 公司研究了马尾松 CTMP 的性质，结果列于表 7-3-31。

马尾松 CTMP 条件：

浸渍段：



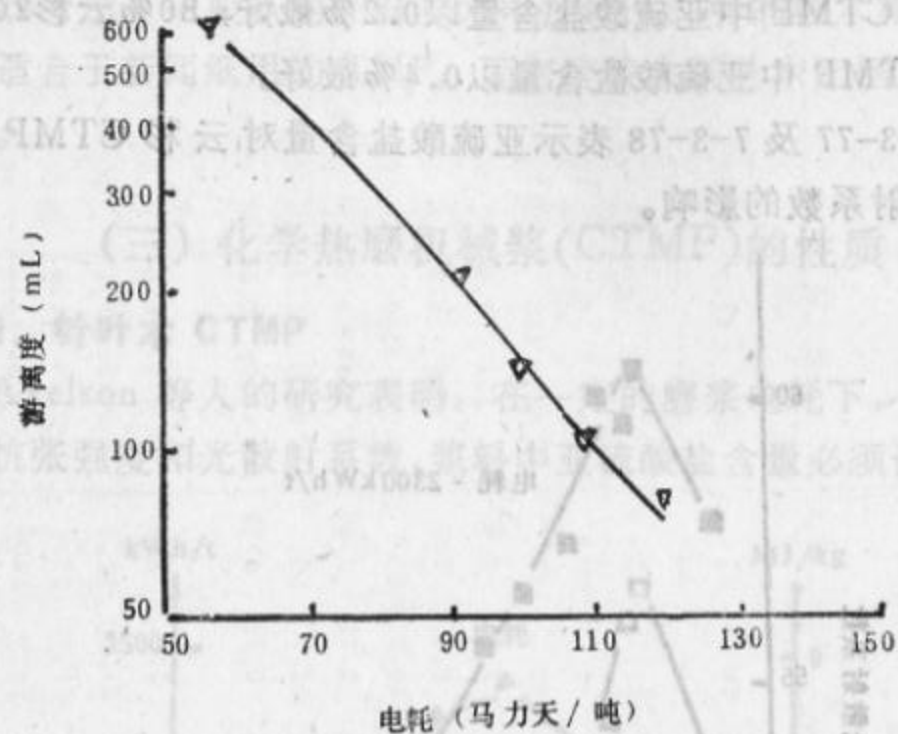


图 7-3-79 马尾松浆电耗与游离度的关系

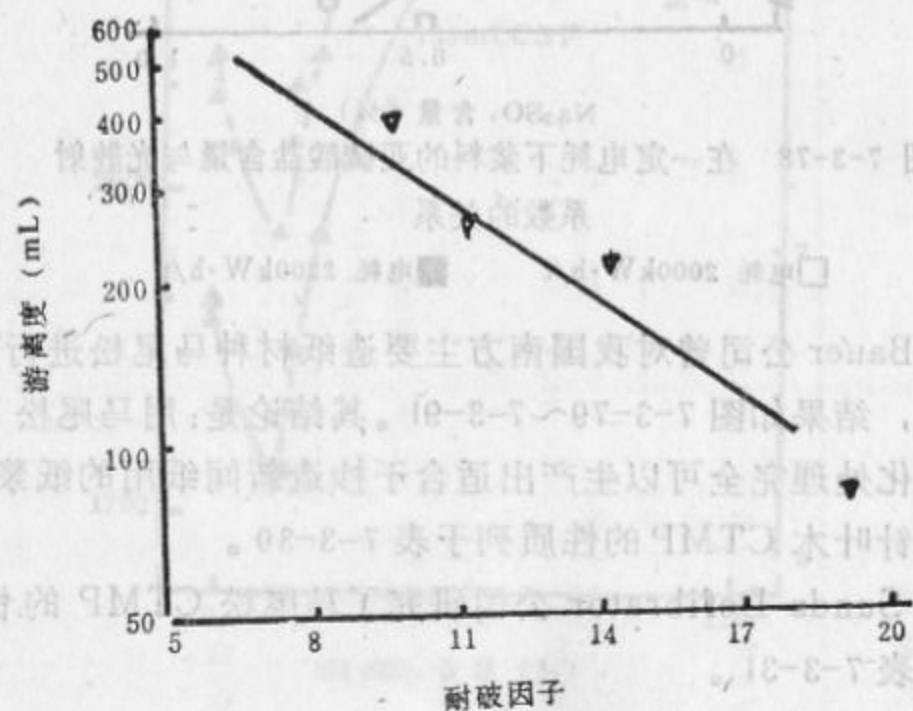


图 7-3-80 马尾松浆耐破度与游离度的关系

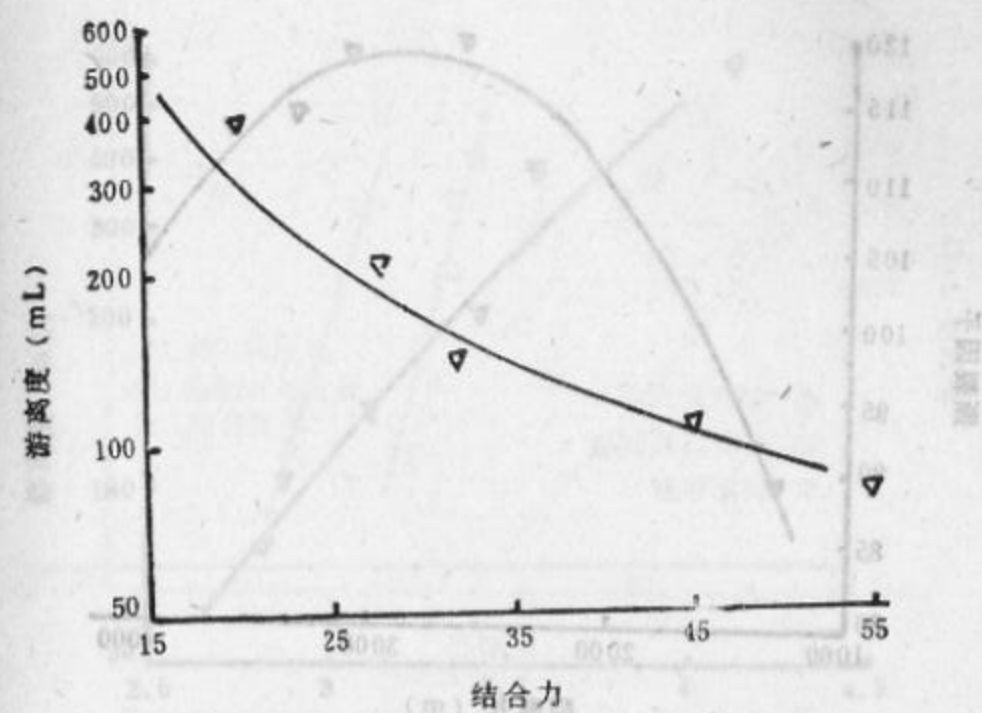


图 7-3-81 马尾松浆结合力与游离度的关系

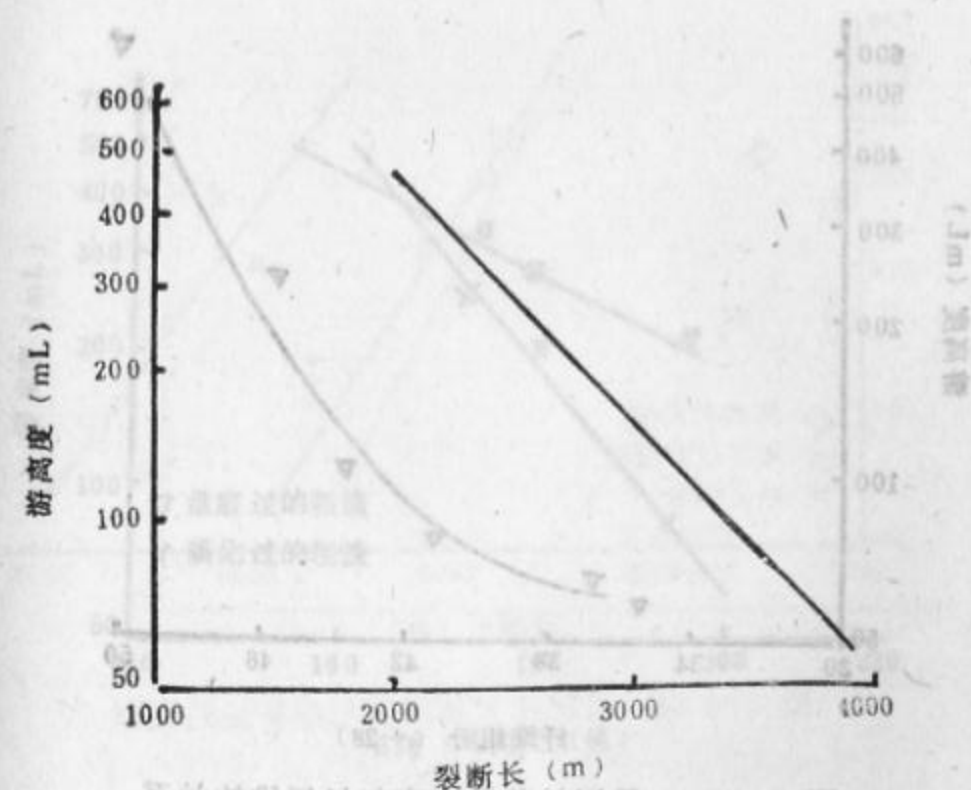


图 7-3-82 马尾松浆游离度与抗张力的关系

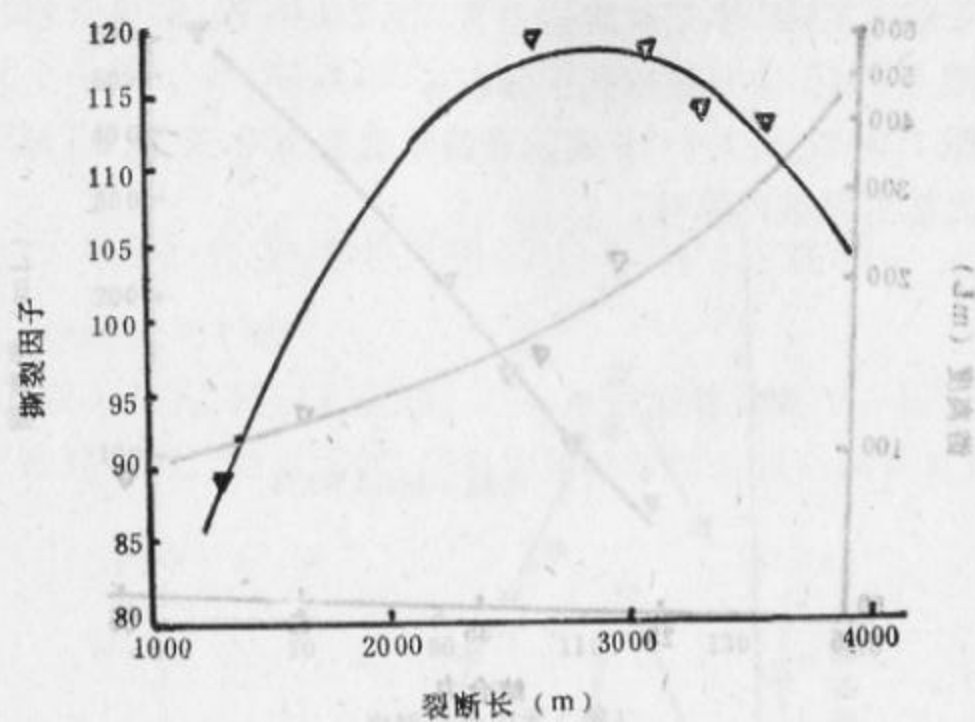


图 7-3-83 马尾松浆撕裂度与抗张力的关系

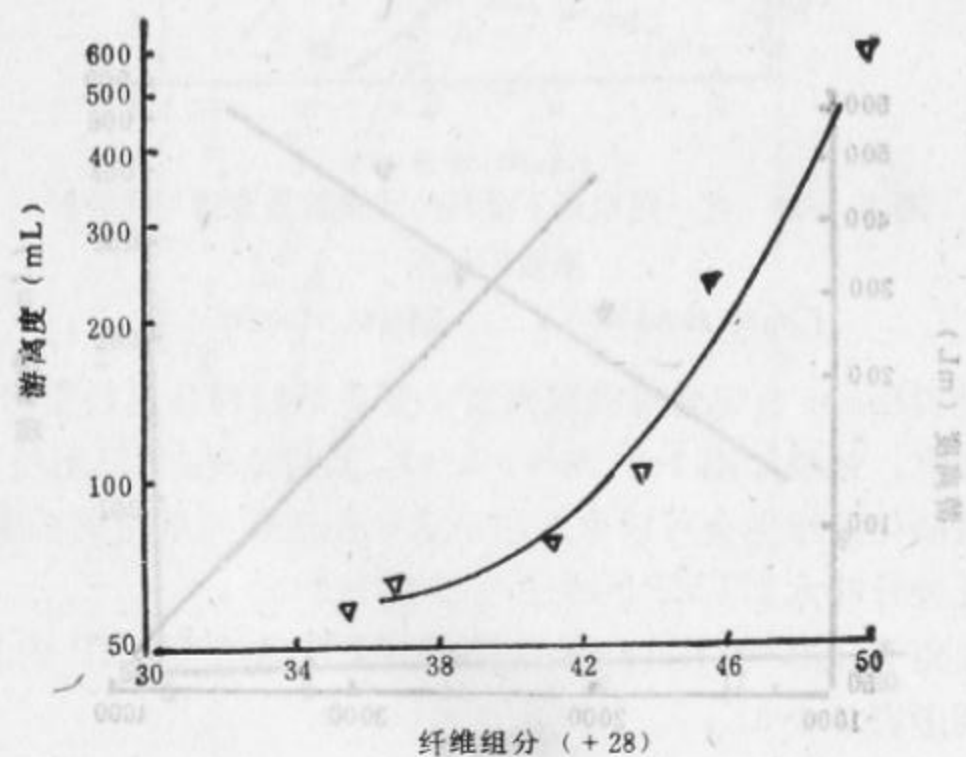


图 7-3-84 马尾松浆游离度与长纤维的关系

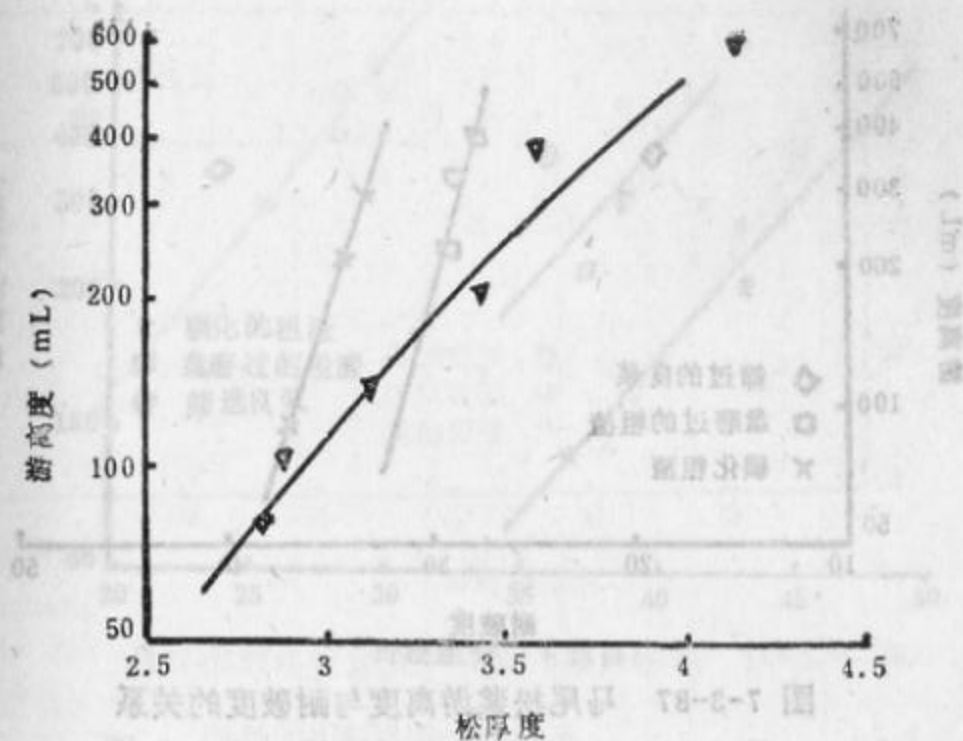


图 7-3-85 马尾松浆游离度与松厚度的关系

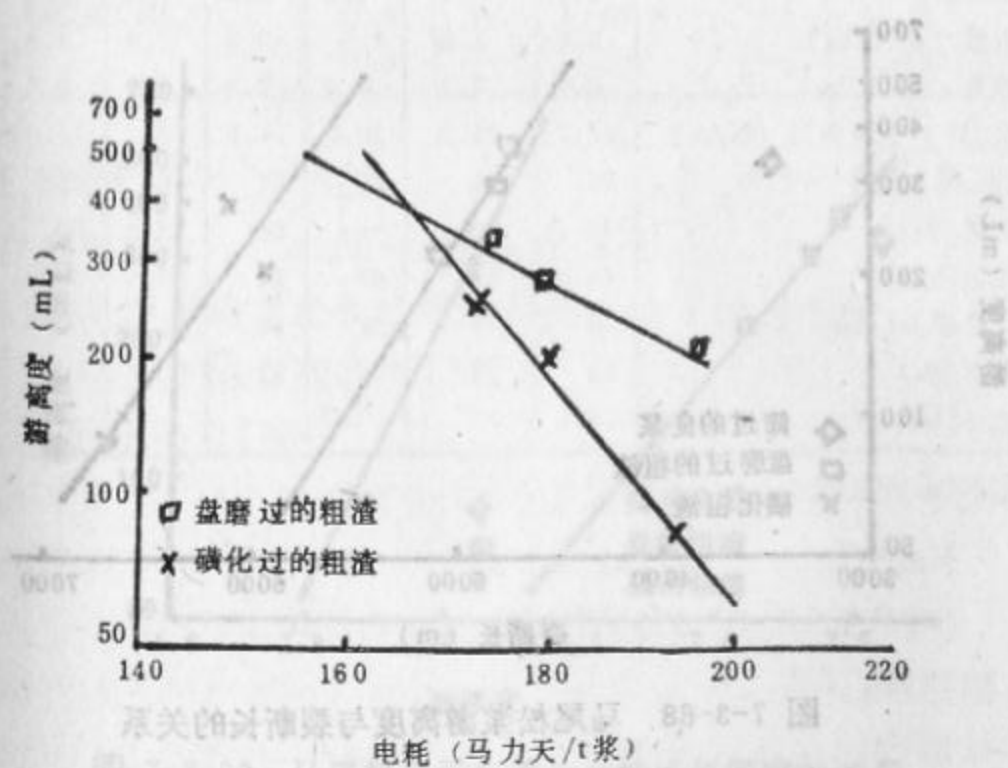


图 7-3-86 马尾松浆游离度与电耗的关系



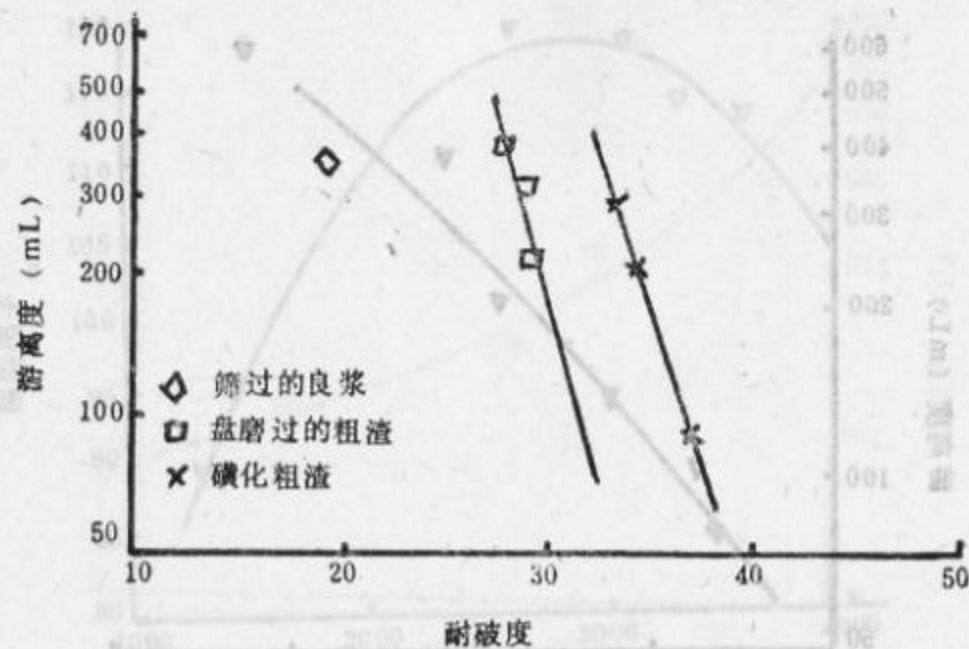


图 7-3-87 马尾松浆游离度与耐破度的关系

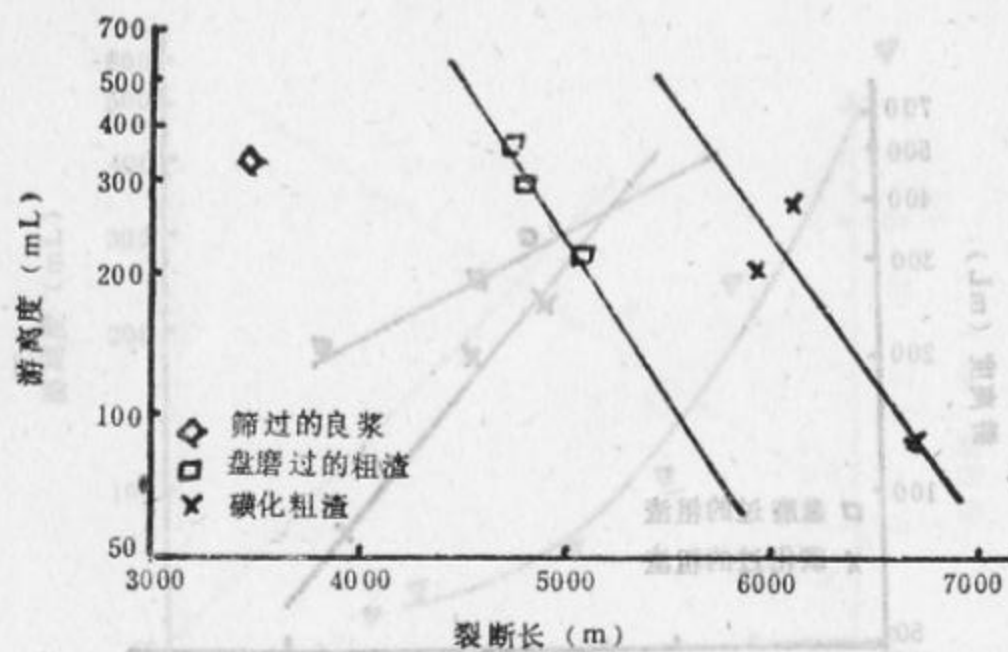


图 7-3-88 马尾松浆游离度与裂断长的关系

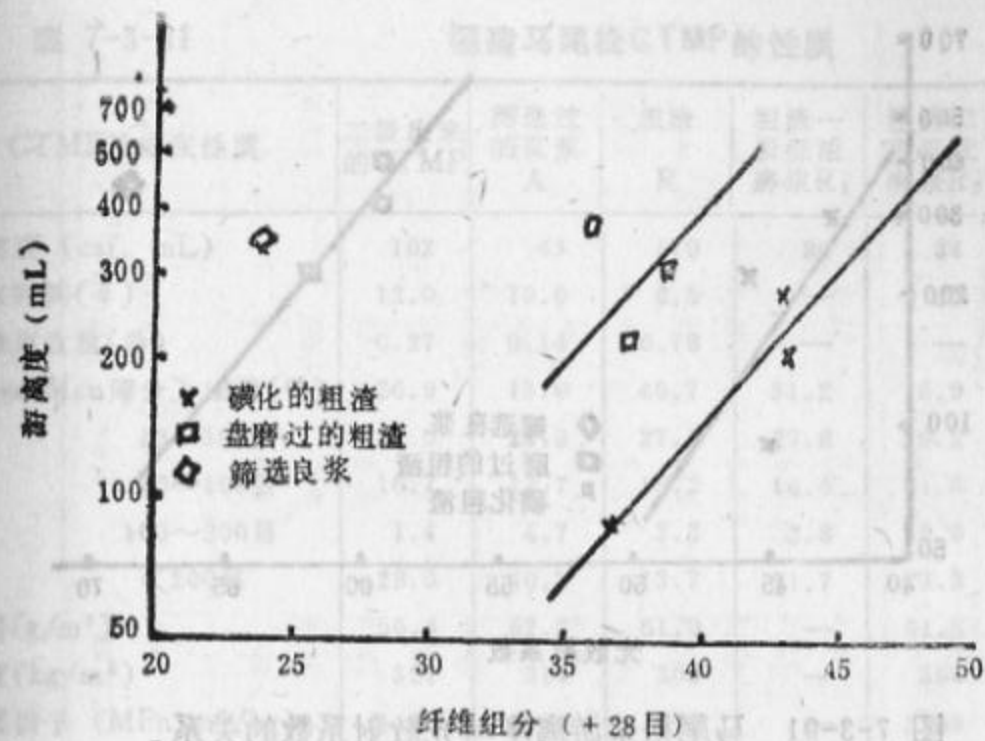


图 7-3-89 马尾松浆游离度与长纤维含量的关系

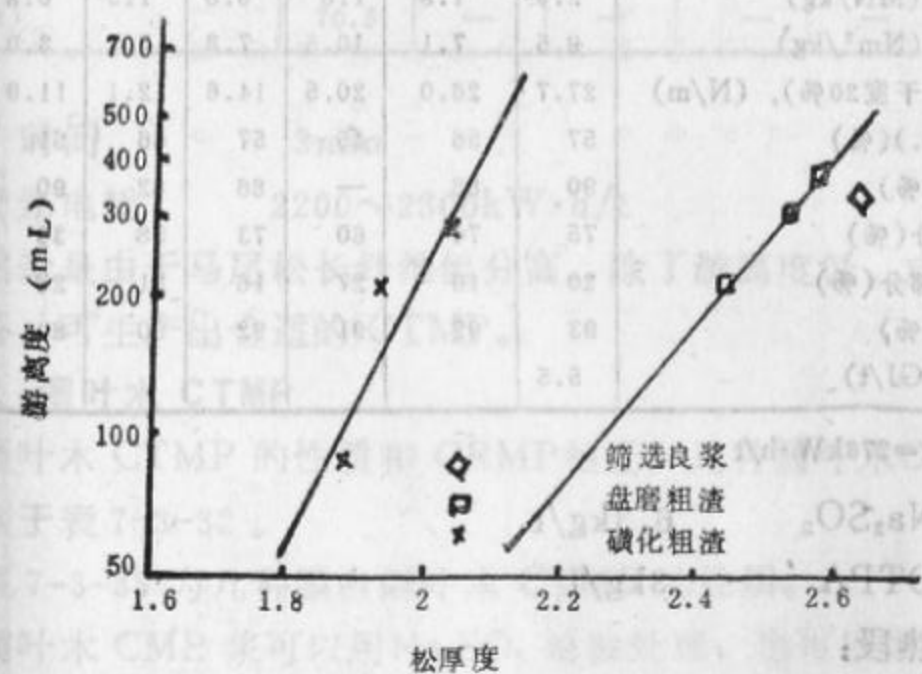


图 7-3-90 马尾松浆游离度与手抄纸松厚度的关系

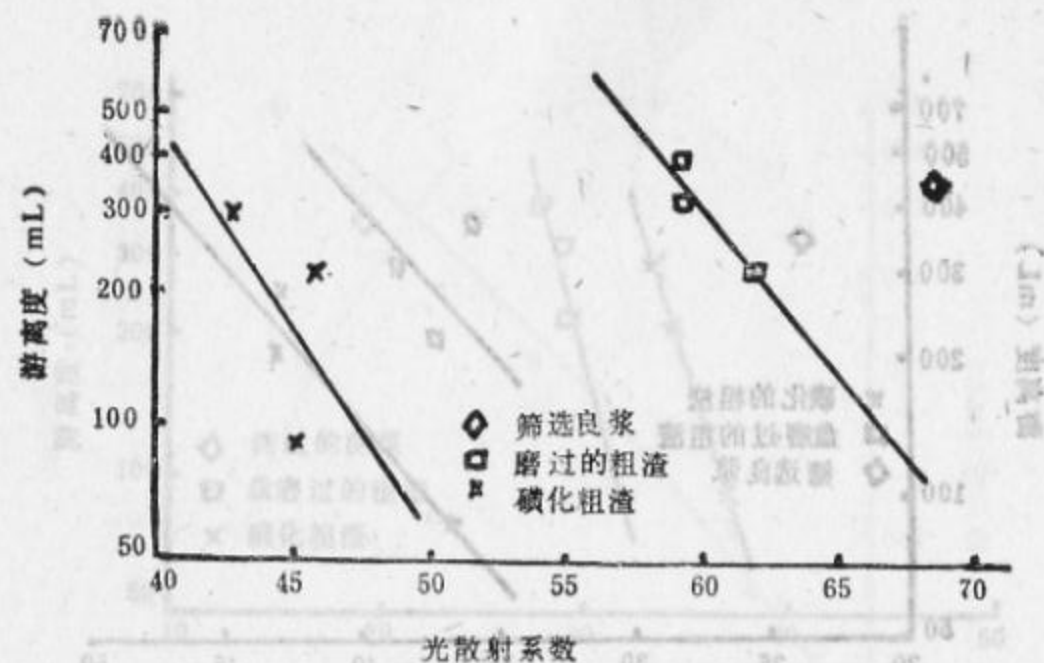


图 7-3-91 马尾松浆游离度与光散射系数的关系

表 7-3-30 各种树种的SCMP的性能

项 目	黑云杉	香脂冷杉	短叶松	铁 杉	杨 木	枫	桦木
裂断长(km)	6.1	4.8	4.2	2.8	4.8	2.9	4.0
耐破指数 (MN/kg)	2.9	1.9	1.6	0.8	1.5	0.8	2.4
撕裂指数 (Nm <sup>2</sup> /kg)	9.5	7.1	10.5	7.8	7.1	3.0	6.0
湿纸拉力(干度20%), (N/m)	27.7	26.0	20.5	14.6	12.1	11.9	
白度(Elre.)(%)	57	56	45	57	66	61	53
不透明度(%)	90	88	—	86	82	90	
长纤维部分(%)	75	74	60	73	58	39	
细小纤维部分(%)	20	16	27	16	21	28	
纸浆得率(%)	93	92	91	92	90	89	
磨浆能耗(GJ/t)	5.5						

1GJ/t=278kW·h/t

Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> 6.3kg/t

DTPA 3kg/t

预热段:

压力 120kPa

温度 130℃

表 7-3-31

福建马尾松CTMP的性质

CTMP及纸张性质	二段出来的CTMP	筛选过的良浆A	粗渣R	粗渣一段低浓磨浆R <sub>1</sub>	粗渣二段低浓磨浆R <sub>2</sub>	A+R <sub>2</sub>
游离度 (csf, mL)	102	43	179	99	34	38
滤水时间(s)	12.0	70.0	6.5	—	65	77
纤维束含量(%)	0.27	0.14	0.78	—	—	0.23
Bauer Mcn筛分>16目(%)	26.9	13.0	40.7	31.2	16.9	20.1
16~30目	27.0	23.9	27.1	27.8	29.2	25.0
30~100目	16.7	17.7	15.2	16.5	21.6	18.9
100~200目	1.4	4.7	3.3	2.8	9.0	2.7
<200目	28.0	40.7	13.7	21.7	23.3	33.3
定量(g/m <sup>2</sup> )	59.6	57.3	61.0	—	61.5	60.2
紧度(kg/m <sup>3</sup> )	321	314	305	—	394	388
耐破因子 (MPa·m <sup>2</sup> /kg)	1.88	1.99	1.79	—	2.59	2.12
张力因子(kN·m/kg)	35.5	40.0	31.8	—	47.6	40.4
伸长率(%)	2.1	2.1	1.9	—	2.2	2.2
撕裂因子(N·m <sup>2</sup> /kg)	10.1	8.8	13.2	—	9.0	8.3
粗糙度(Bcmtsen)(mL/min)	462	430	762	—	347	505
不透明度(%)	84.3	90.3	88.9	—	87.3	91.3
光散射系数(m <sup>2</sup> /kg)	45.4	59.4	40.9	—	46.3	53.8
白度(%)	70.5	—	—	—	—	—

时间 3min

磨浆电耗 2200~2300kW·h/t

结论是由于马尾松长纤维组分高,除了游离度低,成纸表面粗糙外,可生产出合适的CTMP。

## 2. 阔叶木 CTMP

阔叶木 CTMP 的性质和 CRMP相近,几种阔叶木CTMP的性质列于表 7-3-32。

表 7-3-33 为几种漂白阔叶木 CTMP 的性质。

阔叶木 CMP 浆可以用Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>单独处理,也可以用Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>和NaOH混合处理。Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>单独处理的较剧烈,因而纸浆强度较大,而得率和不透明度则较低。



表 7-3-32

几种阔叶木CTMP性质比较

树种	NaOH 用量 (%)	Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> 用量 (%)	得 率 (%)	湿纸 强度 (N/m)	紧度 (kg/m <sup>3</sup> )	张力 指数 (Nm/g)	撕裂 指数 (mN·m <sup>2</sup> /g)	光散射 系数 (m <sup>2</sup> /kg)	未漂 白度 (%)
<i>Eucalyptus globulus</i>	2.5	0	94.1	—	340	33.5	4.6	58.5	—
	3.5	0	93.8	—	365	39.5	5.2	54	—
	4.7	0	92.1	—	435	44.5	5.3	52.5	—
	6.7	0	90.5	—	495	51.5	5.8	47.5	—
	2.6	4.1	87.0	47	460	40	3.9	56.5	57.5
<i>Gmelina arborea</i>	3.4	4.3	86.5	49	535	47.5	4.5	51	53
	4.3	4.5	85.6	51	545	49.5	4.5	49	51.5
<i>Populus euramericana</i> (Poplar)	1.0	1.9	94.5	35	410	27.5	3.4	56.5	59
	2.2	3.0	93	54	450	35	4.4	51	54
	3.7	3.3	91	63	590	53.5	5.3	39	49
<i>Leucaena lucosefala</i> (Lead tree)	2.0	0	93.2	55	425	27.5	3.5	50	39.5
	4.1	0	91.1	57	475	30	4.9	44	34
Scandinavian Spruce	—	—	96.5	93	430	50	10.5	46.5	58.5
TMP	—	—	97	50	425	32	4.0	61.5	60
SGW	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表 7-3-33

几种阔叶木漂白CTMP性质 (120mL)

树种	杨	三毛样	Gmelina	桉木	北欧云杉
种	CTMP	CTMP	CTMP	CTMP	GW TMP
浸渍					
氢氧化钠(%)	1.0	1.0	2.7	5.4	—
亚硫酸钠(%)	3.0	3.0	0	0	—
漂白					
过氧化氢(%)	1.0	3.0	1.0	4.0	—
氢氧化钠(%)	0.8	1.8	1.5	1.8	—
得率	92.6	92.6	87.3	90.7	97.0
未漂(%)	91.3	90.3	85.2	89.2	96.0
漂白(%)	—	—	—	—	—
物理性能					
紧度(kg/m <sup>3</sup> )	430	435	365	480	400
抗张力(Nm/g)	39.0	40.5	27.5	45.5	31.0
撕裂指数(mN·m <sup>2</sup> /g)	6.3	6.3	4.2	5.2	4.2
白度(%)	73.0	78.0	71.0	75.5	60.0

表 7-3-34 为四种木材的 CMP 浆的性质,可以看出材种对浆的性质有很大影响。

表 7-3-34 未漂硬木CMP性质(游离度350mL)

树 种	颤杨	红桤木	桦木	桉木
亚硫酸钠(%)	20.0	15.0	15.0	15.0
蒸煮时间(min)	30	40	15	20
蒸煮温度(°C)	150	160	150	160
得率(%)	86.2	83.0	87.7	85.4
紧度(kg/m³)	520	560	400	440
张力指数(Nm/g)	51.0	65.0	36.0	40.0
撕裂指数(mN·m²/g)	6.7	5.0	5.8	3.9
光散射系数 (m²/kg)	33.5	30.0	38.0	36.0
白度(%)	50.0	45.0	62.0	63.0

表 7-3-35 磺化对南方松GW粗渣性质的影响

	磺化过的粗渣	未处理粗渣的高浓磨浆	GW
游离度(csf, mL)	90	100	95
电耗 (kW·h/t风干浆)	750	650	1400
得率(%)	95	96.5	97
纤维组分	35	35	14
+30目	20	20	32
-200目	0.05	0.5	0.10
纤维束(%)	105	85	60
湿纸强度(N/m)	440	360	385
紧度(kg/m³)	52	42	32
张力指数(Nm/g)	2.8	2.0	1.3
耐破指数(kPa·m²/g)	5.5	6.0	3.8
撕裂指数(mN·m²/g)	57.0	59.0	70
光散射系数(m²/g)	67	59	68
白度(ISO, %)			

表 7-3-36

云杉和白杨木片单独处理和混合处理的CTMP

材种:	单独处理的CTMP		混合木片CTMP	
	云杉	杨木	云杉	杨木
化学药品用量	(%)	(%)	(%)	(%)
亚硫酸钠	15.0	18.0	19.2	21.0
氢氧化钠	0	4.0	5.6	8.0
游离度 csf	96	101	100	100
松厚度	440	441	442	462
耐破指数	3.60	2.60	2.10	2.40
抗张指数	60.9	48.7	45.0	39.6
撕裂指数	7.7	7.8	6.4	7.3
表面粗糙度	220	236	236	260
光散射系数	49.5	50.5	55.0	53.5
不透明度	92.0	92.5	94.5	94.0
白度	61.0	60.0	57.0	58.0



表 7-3-37

三种针叶木TMP、CTMP和CMP性质比较

	北欧云杉		巴西火炬松		美国南方火炬松		美国西岸半漂
	TMP	CTMP	TMP	CTMP	TMP	CTMP	KP
亚硫酸钠(%)	0	1.7	0	4.2	0	3.0	—
预热/蒸煮温度(°C)	130	125	130	125	125	125	—
预热/蒸煮时间(min)	1.5	3.0	1.5	2.5	3	3	—
电耗(kW·h/t)	1980	2150	2640	3600	2950	3200	—
游离度(csf, ml)	100	100	80	80	100	100	680
纤维束(%)	—	—	0.30	0.04	0.20	0.05	—
紧度(kg/m³)	405	438	345	365	270	320	620
耐破指数(kPa·m²/g)	2.35	2.55	1.50	1.93	1.2	1.8	4.7
张力指数(Nm/g)	—	—	29.5	38.0	29	33	—
撕裂指数(mN·m²/g)	8.6	8.4	8.1	7.9	6.0	6.5	17.0
白度(%)	53.0	56.5	56.2	58.0	58	62	—
不透明度(%)	—	—	92.5	90.5	—	—	—
光散射系数(m²/kg)	43.5	40.0	57.0	54.1	57	50	29.9

### 3. 粗渣磺化浆的性质

粗渣磺化已成为提高盘磨机械浆的重要手段。特别是对纤维壁较厚的南方速生松木。表 7-3-35 为南方松TMP 浆粗渣磺化的结果。

粗渣磺化最主要的目的之一是大大减少浆料中的纤维束含量。

和生产TMP 类似,也可以在生产针叶木CTMP时,加入一些阔叶木。问题是这些针叶木和阔叶木是分开化学处理,分别磨浆,然后再混合使用好,还是可以混合在一起加以化学处理和磨浆好。表 7-3-36 是云杉和杨木木片分开化学处理、单独磨浆和混合处理,混合磨浆的比较结果。可以看出,没有太大的差别,只是用分开处理所得的浆抄成的纸紧度较大,表面较平滑。

### (四) 化学机械浆(CMP)的性质

表 7-3-37 为北欧云杉,巴西和美国火炬松的CMP 的性质,作为对照,也列入了这些材种的TMP 和CTMP 的性质以及美国西岸半漂硫酸盐浆的性质。可以看出CMP 浆紧度大、强度高,

表 7-3-38

几种CMP法成浆性质比较

	CIP法 SCMP	Abitibi- Price法 BCMP	Consolidated Bathurst 超离得率浆	OPCO法
亚硫酸钠/亚硫酸氢钠(%)	47	15	6	10
pH	9.5	5.9	4.5	9
反应温度(°C)	150	168	147	160
反应时间(h)	0.5	0.8	4	1
纸浆得率(%)	88	87	80-85	90
排放的BOD(kg/L)	80	—	110-95	40
游离度(mL, CSF)	300	415	600	220-240
耐破指数(kPa·m²/g)	3.4	4.4	3.8	3.8
撕裂指数(mN·m²/g)	8.1	8.7	11.4	8.0

但不透明度和光散射系数较低,很接近于半漂硫酸盐浆的水平。

常用的几种 CMP 法成浆性质比较如表 7-3-38 及 7-3-39。

表 7-3-39 不同树种CIP法CMP浆的性质

树 种	黑云杉	香脂冷杉	斑克松	铁杉	北方混合 软木 <sup>(1)(2)</sup>	南方松 <sup>(3)</sup>
游离度(mL)	350	350	350	350	300	327
裂断长(km)	6.1	4.8	4.2	2.8	6.5	4.2
耐破指数 (kPa·m <sup>2</sup> /g)	2.9	1.9	1.6	0.8	3.7	2.0
撕裂指数(mN·m <sup>2</sup> /g)	9.5	7.1	10.5	7.8	8.1	10.5
松厚度(cm <sup>3</sup> /g)	2.35	2.13	2.25	3.12	1.98	2.49
湿纸强度,干度20%时 (g/cm)	28	27	21	15	45	28
白度(%)	57	56	45	57	52-54	50-53
不透明度(%)	90	88	NA	86	NA	NA
得率(%)	93	92	91	92	90	94

注:除非另有说明,蒸煮条件为:Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>浓度120g/L,pH7.8,140℃蒸煮30min。

(1)混合木片比例:云杉42%,香脂冷杉35%,斑克松23%。

(2)在135℃下蒸煮30min。

(3)在75℃下浸渍15min,135℃下煮30min。

#### 四、盘磨机械浆的设备

盘磨机械法制浆主要是靠机械作用成浆的,因此设备对制浆过程有很大影响。本节仅对主要过程设备作简要说明。

##### (一) 汽 蒸 器

木片的预汽蒸可以在常压下进行,也有在压力下进行的。

常压预汽蒸通常是在木片仓内进行。图7-3-92为一种常常压预汽蒸的木片仓。蒸汽由木片仓底部经蒸汽分配管均匀地送入

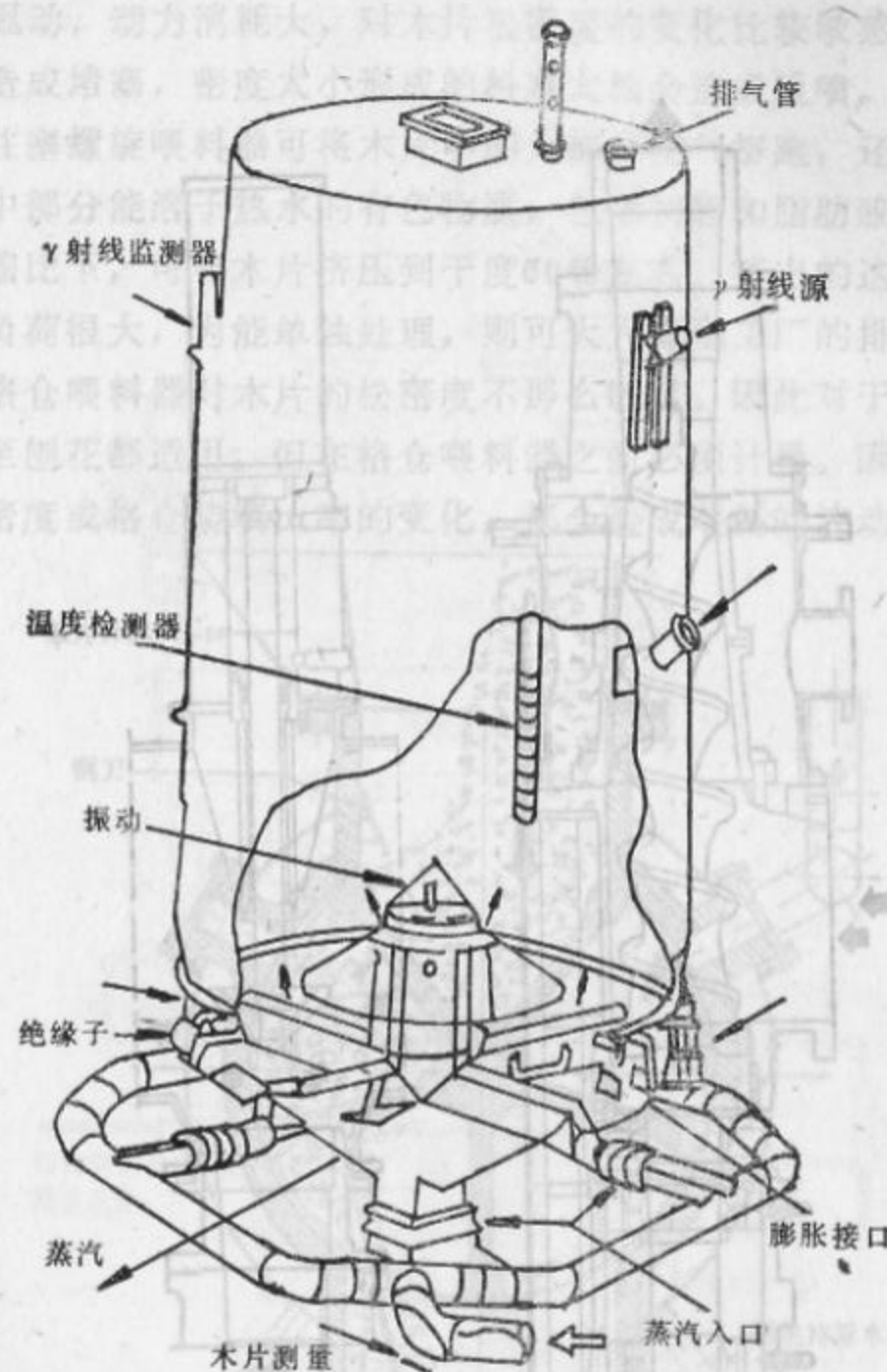


图 7-3-92 常压预汽蒸木片仓

木片仓内,自上而下的木片经汽蒸后从底部排出。为了防止木片搭桥,并保证排料均匀,底部有振动器。

在压力下汽蒸时,汽蒸室的进出口处都要加以密封。进口处可用柱塞螺旋喂料器(图7-3-93)或格仓喂料器密封,柱塞螺旋喂料通常以1:2的压缩比率在汽蒸室的入口形成料塞。它以变速





功率小，但结构必须坚固，否则容易磨损。图 7-3-94 为格仓喂料器。

图 7-3-95 为卧式汽蒸器系统。

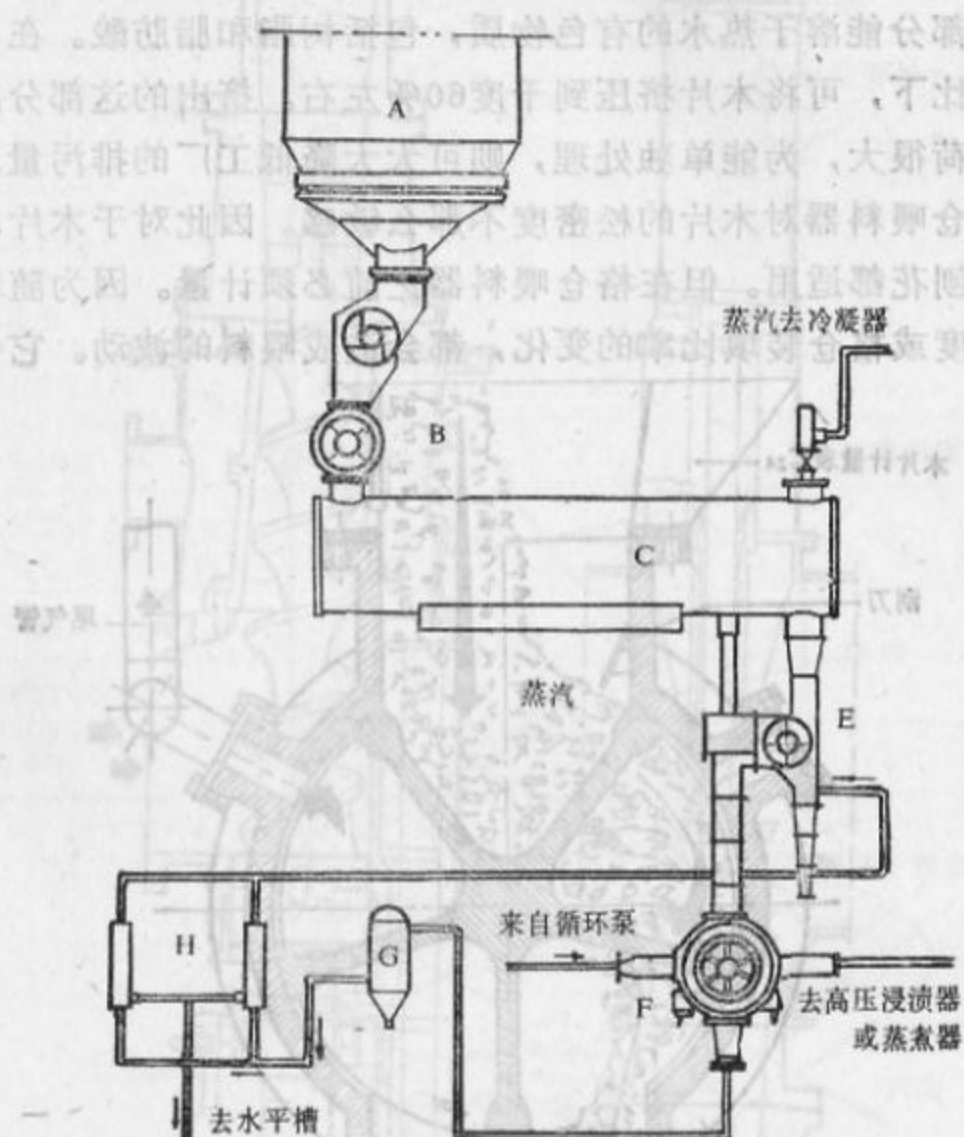


图 7-3-95 卧式汽蒸系统

从木片仓 A 将木片经格仓喂料器 B 喂入常有低速螺旋的汽蒸管 C 内，由于低速螺旋会造成排料的波动，因此，木片在进盘磨机之前要经一高速螺旋以均匀进料量。

## (二) 浸渍器

图 7-3-96 为斜管浸渍器，它是一压力容器，内有螺旋输送机，

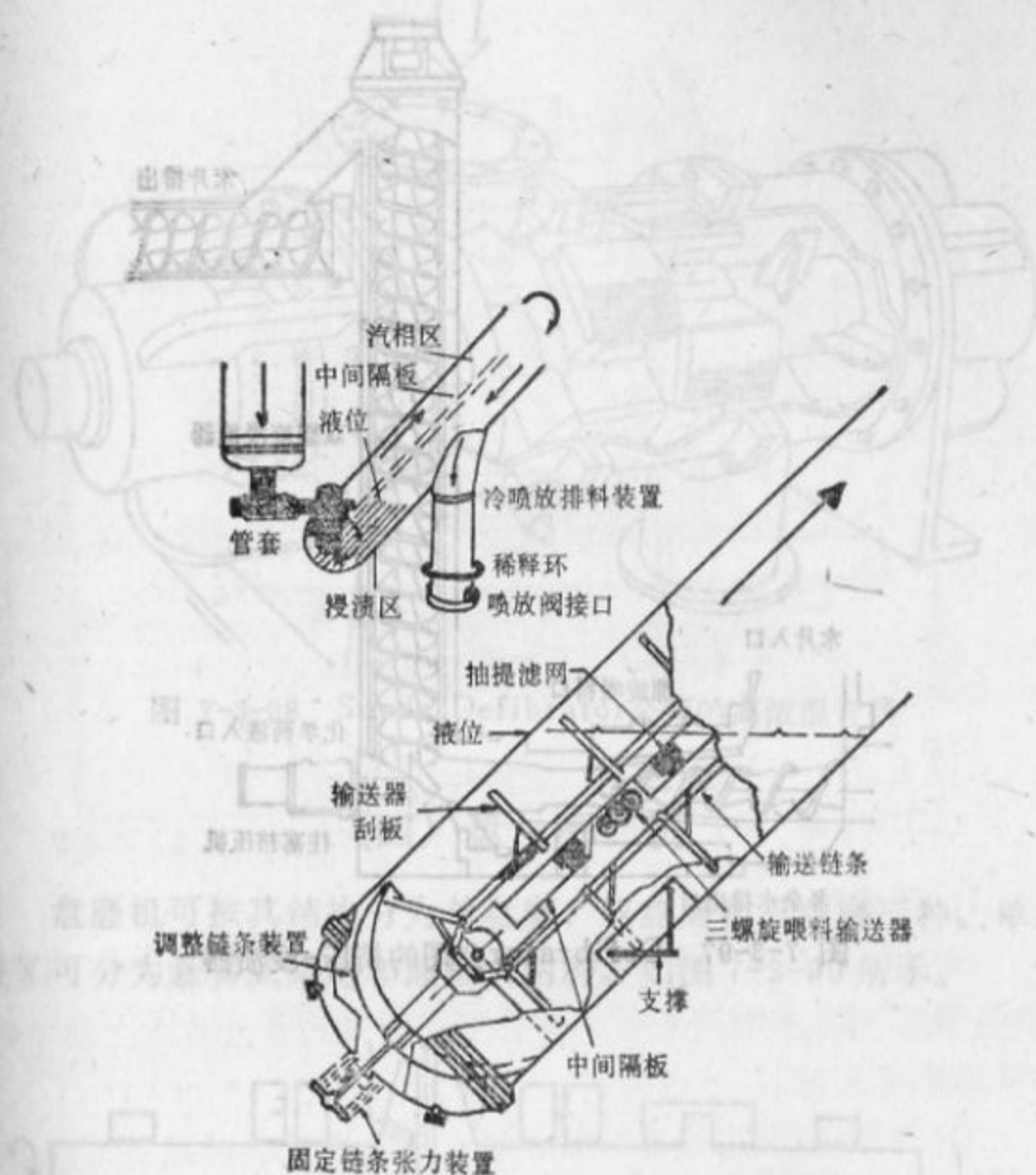


图 7-3-96 斜管浸渍器

保持一定液位。使木片在压力下在化学药液中浸渍一定时间。浸渍器液面上部是脱水区，把木片中多余的药液排出。

图 7-3-97 为 Defibrator 公司的挤压-浸渍器。木片经螺旋喂料器挤压脱水，并挤出木片中。能溶于水的成分后进入立式浸渍管，膨胀吸收化学药液，再由双螺旋提升机往上提，超出液面，滤出多余药液后排到另一螺旋输送机，进入下一工序。



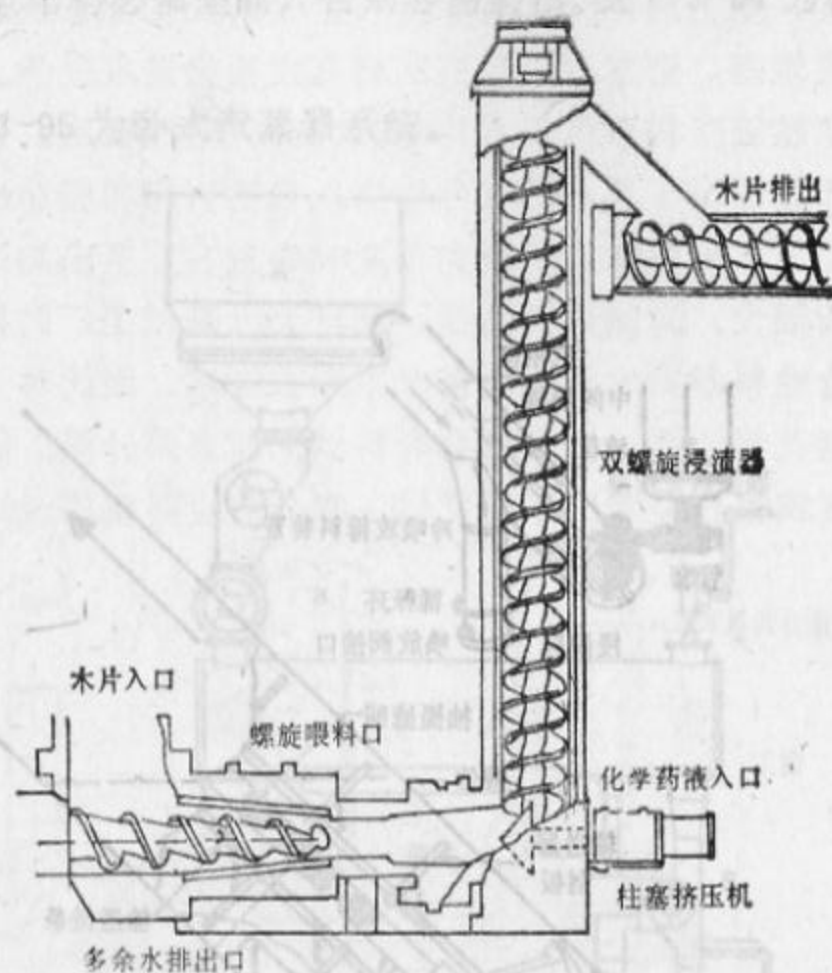


图 7-3-97 Defibrator公司的挤压-浸渍器

### (三) 高浓混合器

在CTMP系统木片(或浆料)和化学药品的均匀混合对成浆质量有很大影响。

图 7-3-98 为 Sunds Defibrator 公司发 的一种高浓混合器。它利用在混合区内转子和外壳之间一系列压缩-减压作用而达到有效的混合。

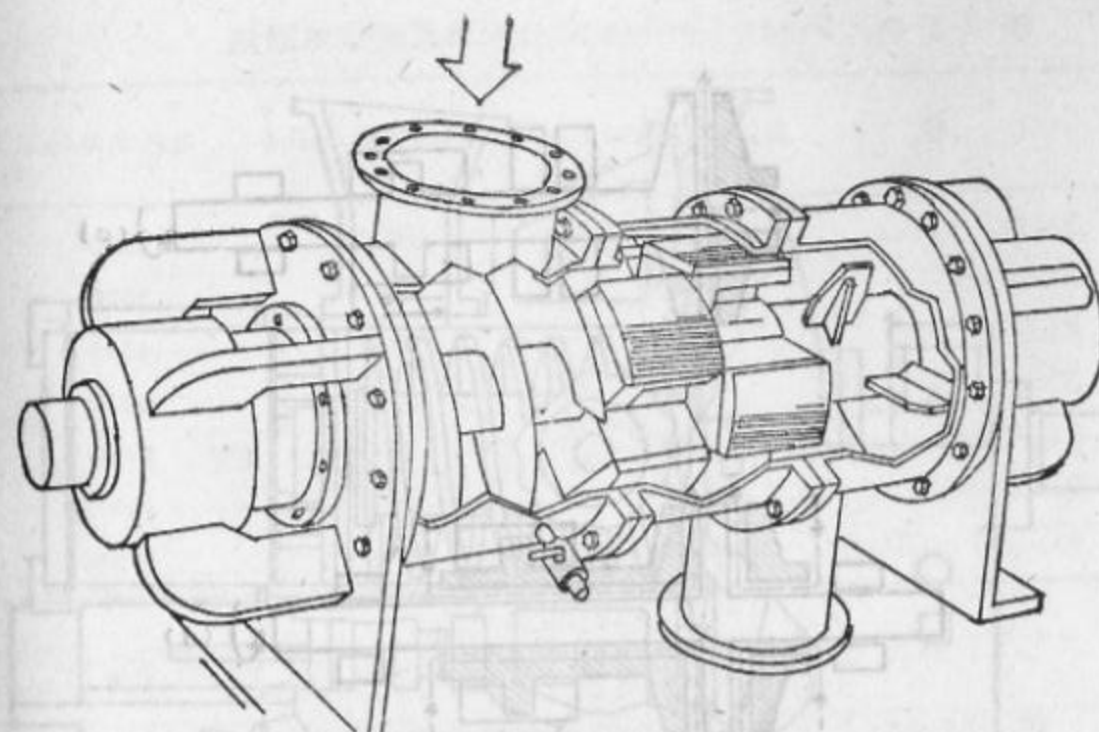
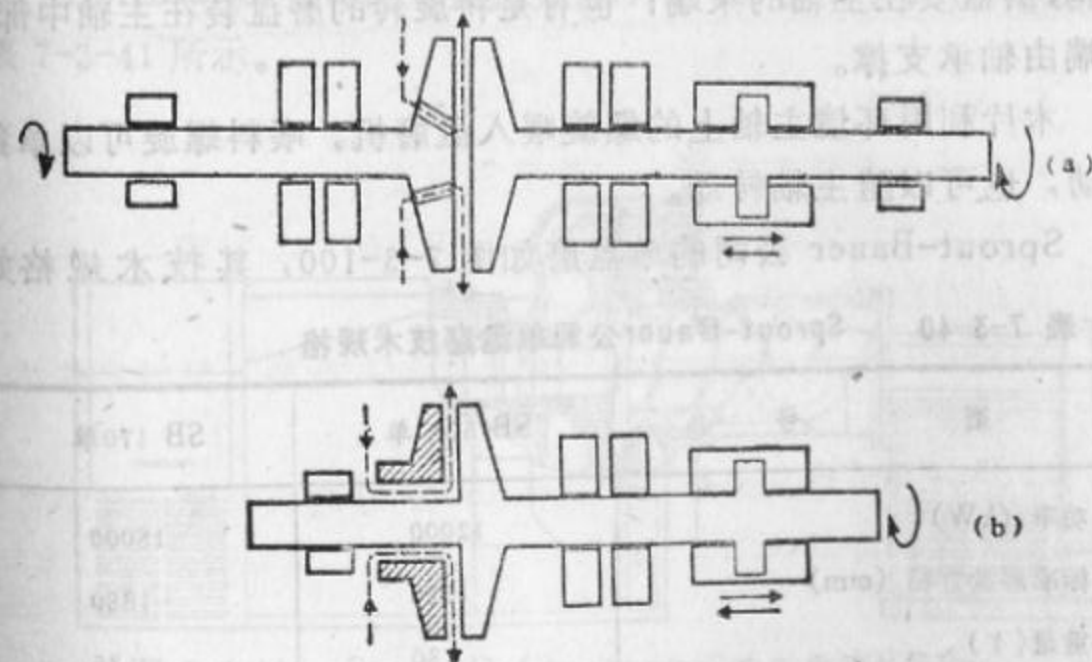


图 7-3-98 Sunds Defibrator公司的高浓混合器

### (四) 盘磨机

盘磨机可按其结构分为单盘磨、双盘磨和三盘磨三种。单盘磨又可分为悬臂式结构和通轴式两种。如图 7-3-99 所示。



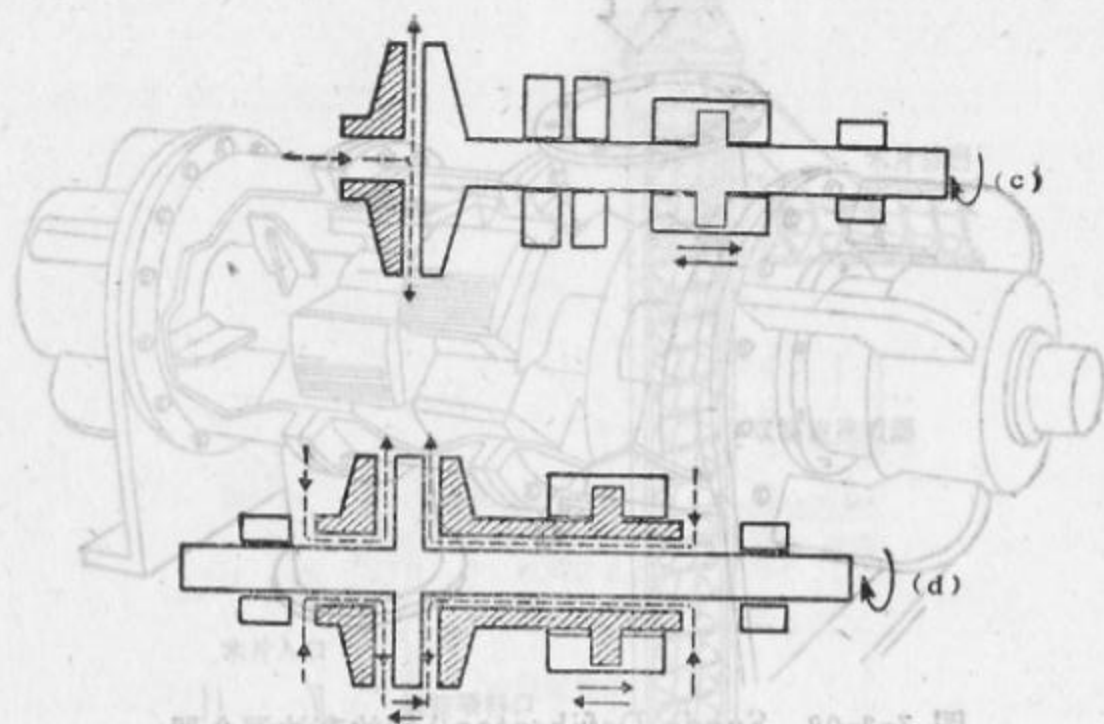


图 7-3-99 盘磨机的主要型式

(a) 双盘磨 (b) 通轴式单盘磨 (c) 悬臂式单盘磨 (d) 三盘磨

### 1. 单盘磨

一个磨盘旋转，另一磨盘固定不动。旋转的磨盘可采用悬臂结构，磨盘安在主轴的末端；也有是将旋转的磨盘装在主轴中部，两端由轴承支撑。

木片利用环境主轴上的螺旋喂入盘磨机。喂料螺旋可以单独传动，也可以随主轴转动。

Sprout-Bauer 公司的单盘磨如图 7-3-100，其技术规格如

表 7-3-40 Sprout-Bauer公司单盘磨技术规格

型 号	SB150 单	SB 170单
功率 (kW)	12000	15000
标准磨盘直径 (mm)	1520	1680
重量 (t)	30	35

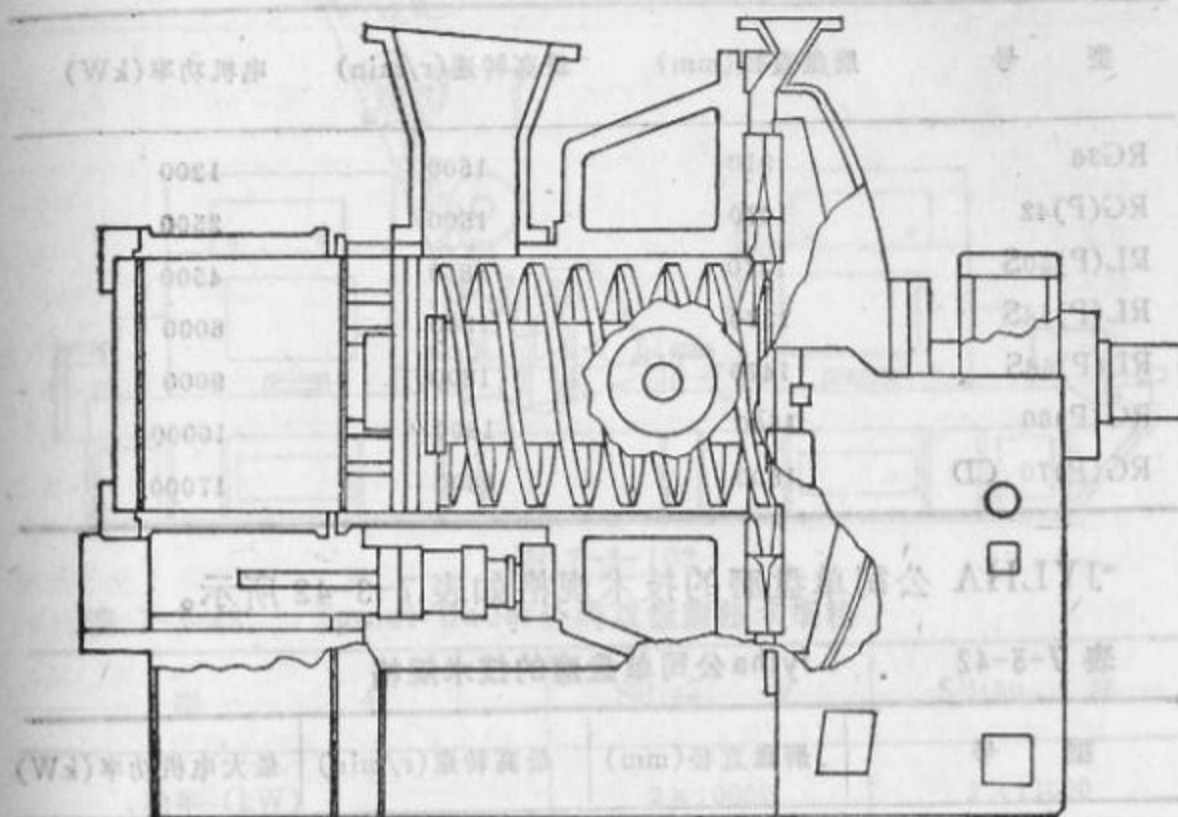


图 7-3-100 Sprout-Bauer公司的单盘磨

表7-3-40。

Defibrator 公司的单盘磨如图 7-3-101 所示，其技术规格如表 7-3-41 所示。

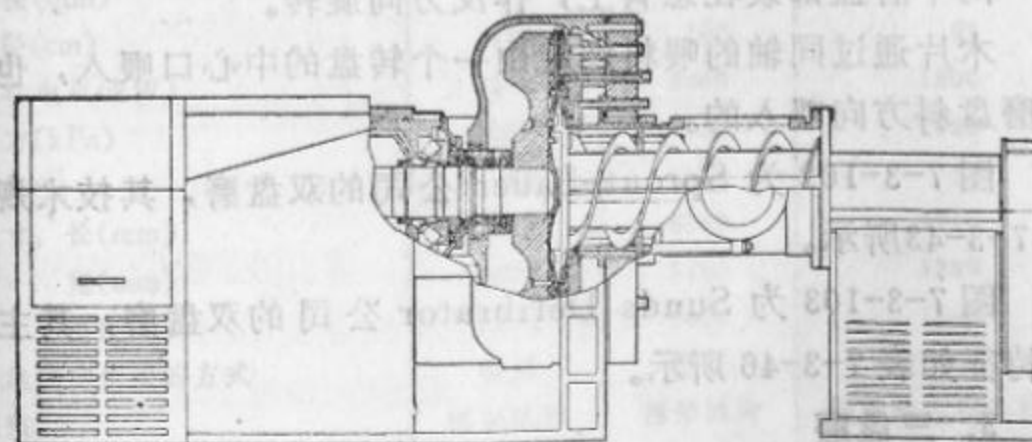


图 7-3-101 Sunds Defibrator公司的单盘磨RGP60



表 7-3-41 Sunds Defibrator公司单盘磨技术规格

型 号	磨盘直径(mm)	最高转速(r/min)	电机功率(kW)
RG36	910	1500	1200
RG(P)42	1070	1500	2500
RL(P)50S	1270	1800	4500
RL(P)54S	1370	1800	6000
RL(P)58S	1470	1800	9000
RG(P)60	1500	1800	10000
RG(P)70 CD	1500	1800	17000

JYLHA 公司单盘磨的技术规格如表 7-3-42 所示。

表 7-3-42 Jylha公司单盘磨的技术规格

型 号	磨盘直径(mm)	最高转速(r/min)	最大电机功率(kW)
SD42(-P)	1070	1800	2000
SD48(-P)	1220	1800	3000
SD50(-P)	1270	1800	4500
SD52(-P)	1320	1800	4800
SD54(-P)	1370	1800	6000

## 2. 双盘磨

两个磨盘都装在悬臂上, 作反方向旋转。

木片通过同轴的喂料螺旋由一个转盘的中心口喂入, 也有由一磨盘斜方向喂入的。

图 7-3-102 为 Sprout-Bauer 公司的双盘磨, 其技术规格如表 7-3-43 所示。

图 7-3-103 为 Sunds Defibrator 公司的双盘磨, 其主要技术特征如表 7-3-46 所示。

## 3. 三盘磨

这是由两台单盘磨结合而成的, 但和单盘磨有很大不同, 它

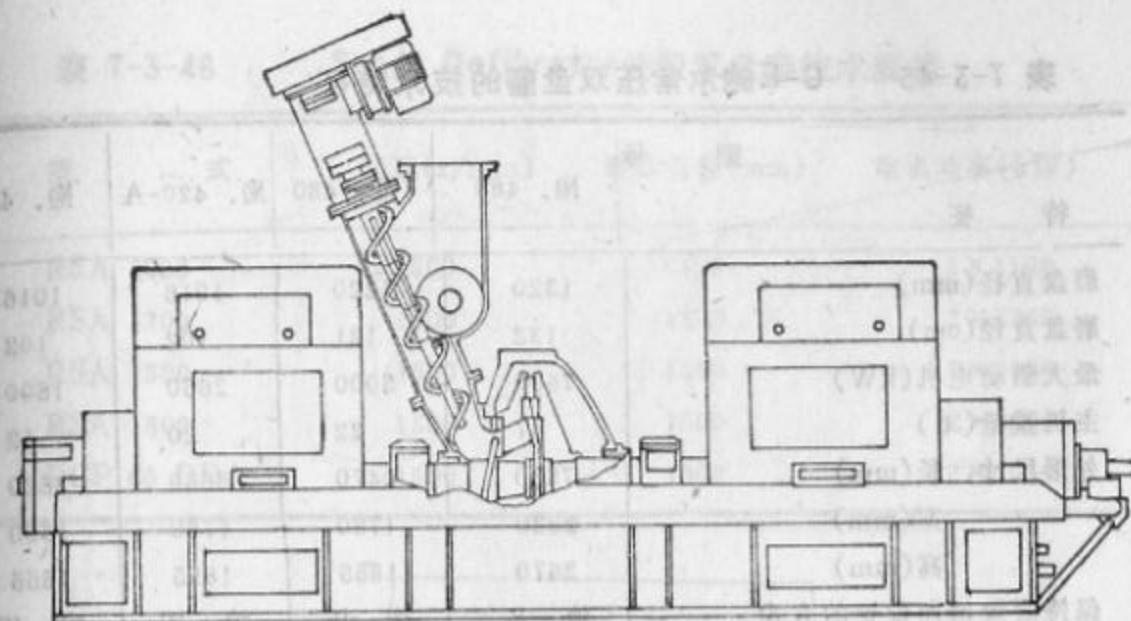


图 7-3-102

表 7-3-43 Sprout-Bauer公司双盘磨技术规格

型 号	SB160 双	SB190 双
功率 (kW)	2×10000	2×13000
标准磨盘直径 (mm)	1600	1850
重量 (t)	100	150

表 7-3-44 C-E 鲍尔压力双盘磨的技术特征

特 征	型 号	No. 485	No. 420-9	No. 418-1
磨盘直径(mm)		1320	1016	915
磨盘直径(cm)		132	102	91
最大驱动电机(kW)		7500	2650	1500
最高压力(kPa)		1029	1029	1029
主机重量(t)		48	21	12
外形尺寸: 长(mm)		7660	5660	4710
宽(mm)		2220	1780	1390
高(mm)		2670	1855	1640
保持磨盘轴向位置的方式		液压	液压	液压
间隙调整		伺服机构	伺服机构	伺服机构和摇把
润滑方式		强制循环	强制循环	强制循环
附属双螺旋喂料器型号		No. 483-4	No. 483-2	No. 483-1

表 7-3-45 C-E 鲍尔常压双盘磨的技术特征

特 征	型 号 №. 489	№. 480	№. 420-A	№. 412
磨盘直径(mm)	1320	1220	1016	1016
磨盘直径(cm)	132	121	102	102
最大驱动电机(kW)	7500	3000	2650	1500
主机重量(t)	47	22	20	12
外形尺寸: 长(mm)	7680	5470	5660	4520
宽(mm)	2220	1780	1780	1390
高(mm)	2670	1855	1855	1655
保持磨盘轴向位置的方式	液 压	液 压	液 压	液 压
间隙调整	伺服机构	伺服机构	伺服机构	伺服机构
润滑方式	强制循环	强制循环	强制循环	强制循环
附属双螺旋喂料器型号	№. 486	№. 484	№. 484-2	№. 464

注: 驱动电机功率为两台电机的合计功率, 设备高度不包括喂料螺旋。

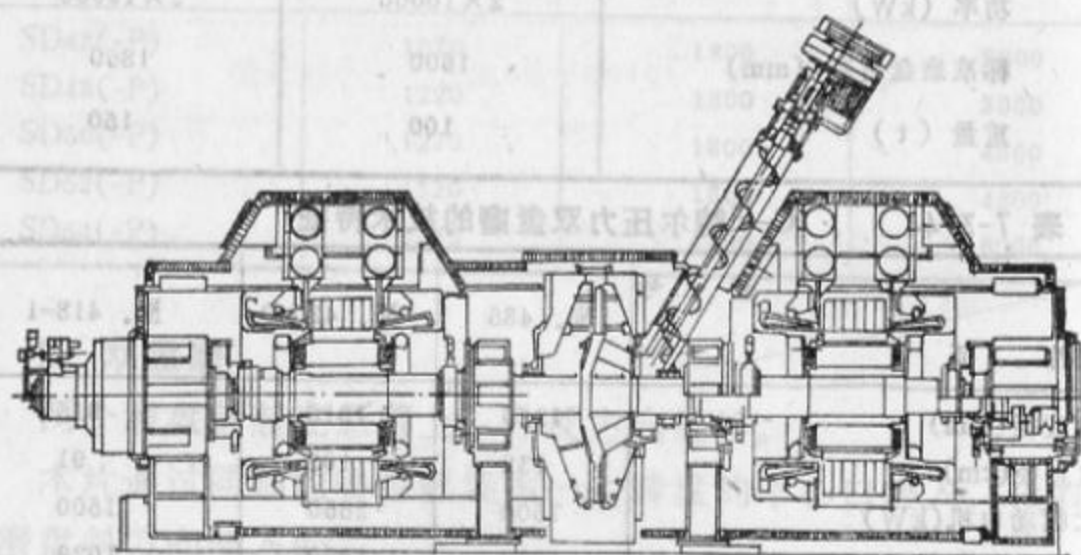


图 7-3-103 Sunds Defibrator公司双盘磨

的旋转的磨夹在两个固定的磨盘中间, 因此在同样直径下, 磨浆面积提高了一倍。由于两边固定的磨盘对着中间转盘加压, 因此实际上不存在轴推力, 磨盘也不会变形, 在任何操作条件下都能保持良好的平行度。

图 7-3-104 及 7-3-105 为 Sprout-Bauer 公司的三盘磨, 表

表 7-3-46 Sunds Defibrator公司双盘磨技术规格

型 式	转速(r/min)	磨盘直径(mm)	电机功率(kW)
RSA 1000	1500	1100	2×1100
RSA 1300	1500	1300	2×2200
RSA 1300	1500	1300	2×3000
RSA 1500	1500	1500	2×6500
RGP 65 DD	1500	1600	2×7000

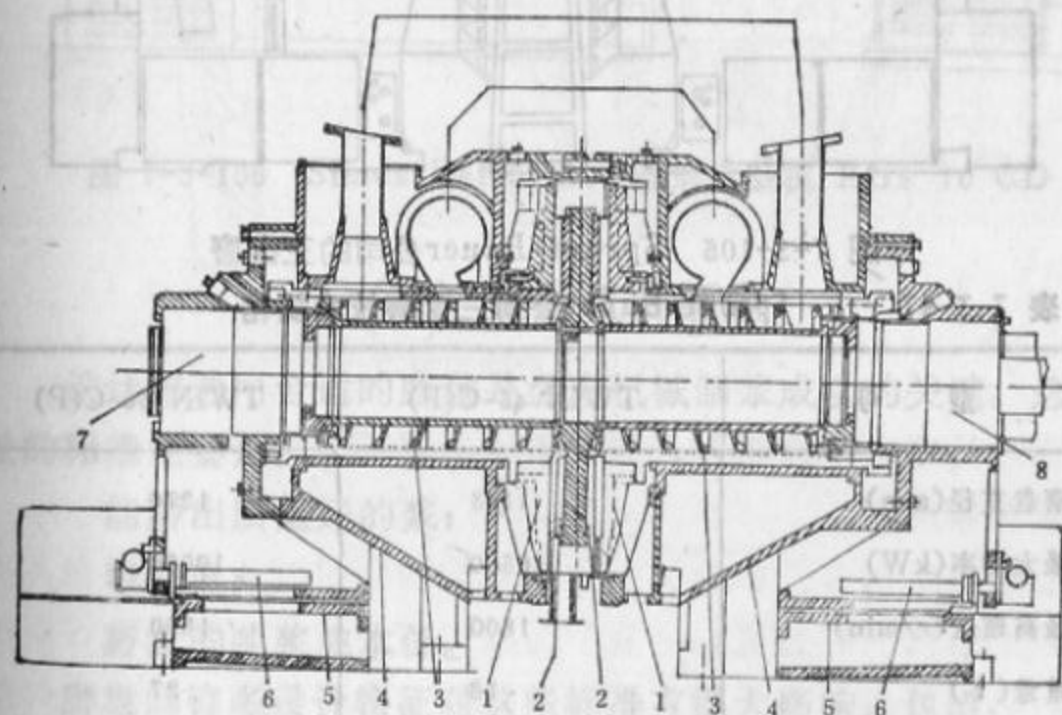


图 7-3-104 Sprout-Bauer公司的三盘磨

1—磨盘底座 2—磨盘 3—带式喂料器 4—对称的盘磨机外壳 5—底座  
6—回缩机构 7—盘磨机末端轴承座 8—盘磨机传动侧轴承座

7-3-47 及 7-3-48 为其技术规格。

#### 4. 锥形盘磨机

为了克服大直径磨盘所带来的问题, Defibrator 公司发展了“锥形区”的概念, 即在磨盘的外圈有一和磨盘成 75° 的磨浆区, 这种叫做 CD70 的盘磨机的磨浆面积相当于普通 1778mm 盘磨机, 而其线速度只相当于 1473mm 的盘磨机。



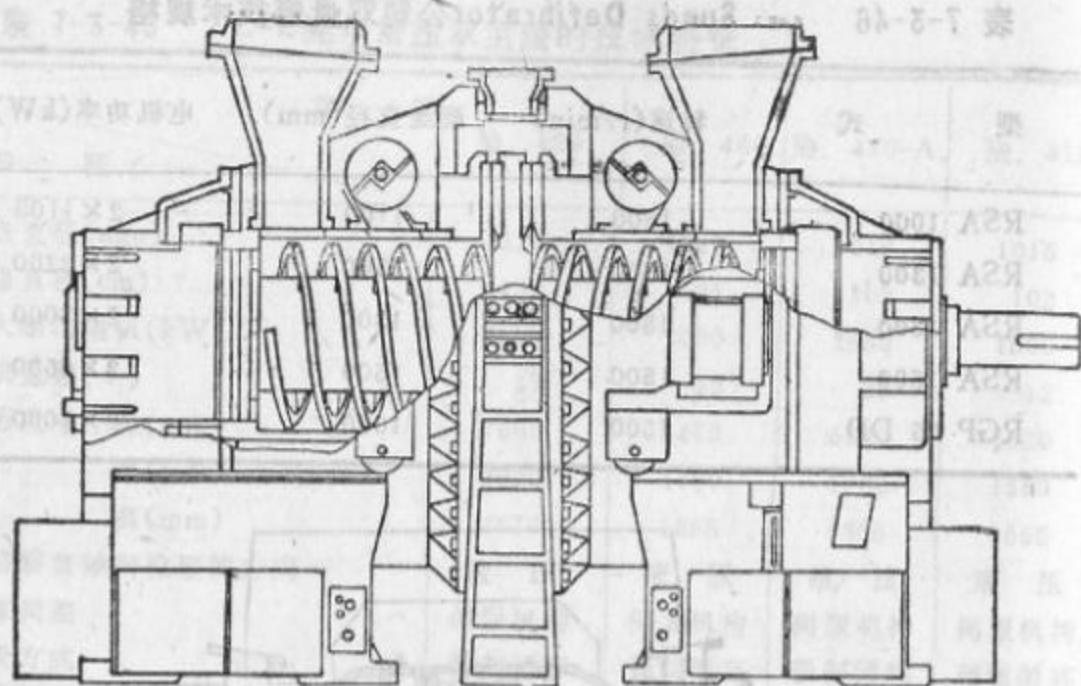


图 7-3-105 Sprout-Bauer公司的三盘磨

表 7-3-47 Sprout-Bauer公司三盘磨技术规格

型 号	TWIN 45-C(P)	TWIN 50-C(P)
磨盘直径(mm)	1143	1270
最大功率(kW)	6500	10000
最高速度(r/min)	1800	1800
重量(t)	18	27

表 7-3-48 Sprout-Bauer三盘磨技术数据

型 式	SB150 TWIN	SB170 TWIN	SB190 TWIN
功率(kW)	23,000	26,000	30,000
标准磨盘直径(mm)	1520	1680	1850
重量(t)	50	67	69

在锥形盘磨机中，中间平面磨浆部分的磨盘充分利用离心力作用使浆料进入磨浆区，而到了锥形区，这种加速的离心力降低，

而延长了浆料在磨区的停留时间。图 7-3-106 为 CD70 锥形盘磨机的剖面图。

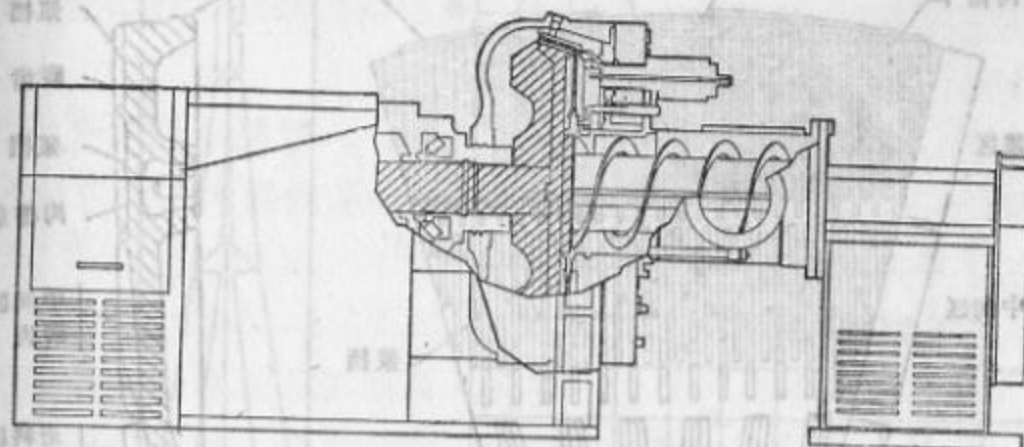


图 7-3-106 Sunds Defibrator 锥形盘磨机 RGP 70 CD

### (五) 盘磨机的磨盘

设计和选用合适的磨盘是盘磨机械制浆成功的关键。选择磨盘的标准主要是：

能磨出质量好的浆；

电耗低；

磨盘的吨浆成本低。

磨盘的许多设计特征对这些标准有很大影响，包括：

磨齿和沟槽的尺寸和排列；

磨盘的锥度；

浆档的型式、位置和数量。

#### 1. 磨盘的设计

目前磨盘的设计还是凭经验摸索出来的，无规律可循，也没有一种对各种木材和浆料都适用的磨盘。

磨盘通常分破碎区、过度区和精磨区。破碎区用的磨碎木片，其磨齿粗而稀，精磨区磨齿细而密，典型的磨盘如图 7-3-107 所示。

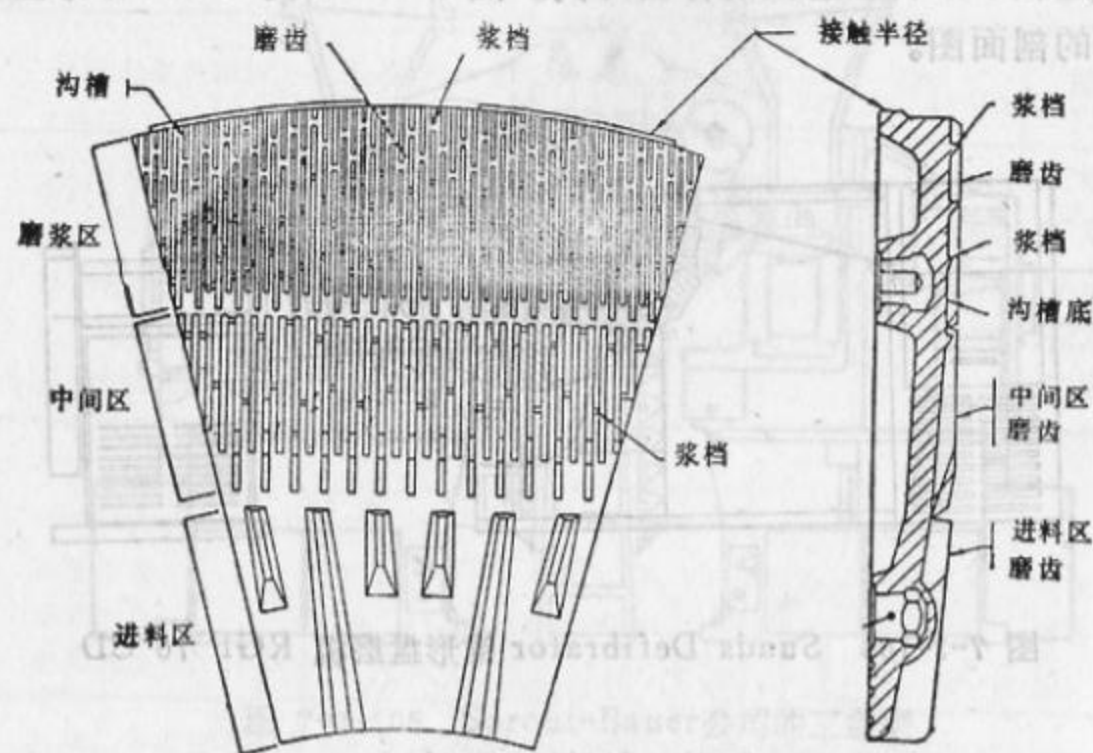


图 7-3-107 典型的磨盘

当木片喂入盘磨机时，先经破碎区磨成火柴杆状，然后通过过渡区和精磨区。

磨齿是用以对纤维施加压力的，沟槽则用以让纤维膨胀并作为输送水和蒸汽的通道。一般磨齿和沟槽的宽度不得超过纤维的长度。有的磨盘设有浆档，其作用是抑制浆料的流动，迫使纤维进入齿面受到磨碎作用。浆档最好呈螺旋状排列，其高度由中心到外部逐渐增加。

设计磨盘的另外二个指标是填充状态曲线 (billing state curve) 和比容曲线 (specific volume curve)。

填充状态曲线是指两磨盘接触时沟槽空间与磨盘半径的关系。比容曲线的含义与填充状态曲线相似，但是是指在磨浆间隙下的空间总容积。从图 7-3-108 和 7-3-109 可以看到曲线上最窄的一点的蒸汽速度为 0，称转折点。离开这一点磨浆所产生的蒸汽分别向磨盘内外流动，这转折点离磨盘中心越远，越多的蒸

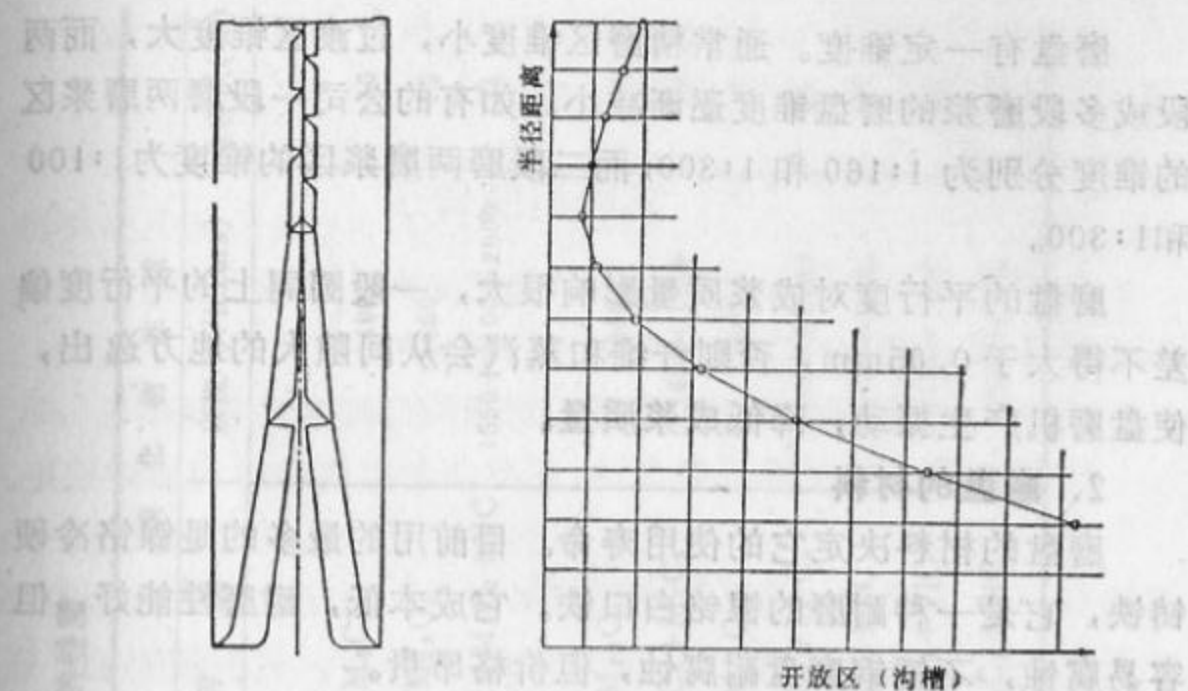


图 7-3-108 填充状态曲线

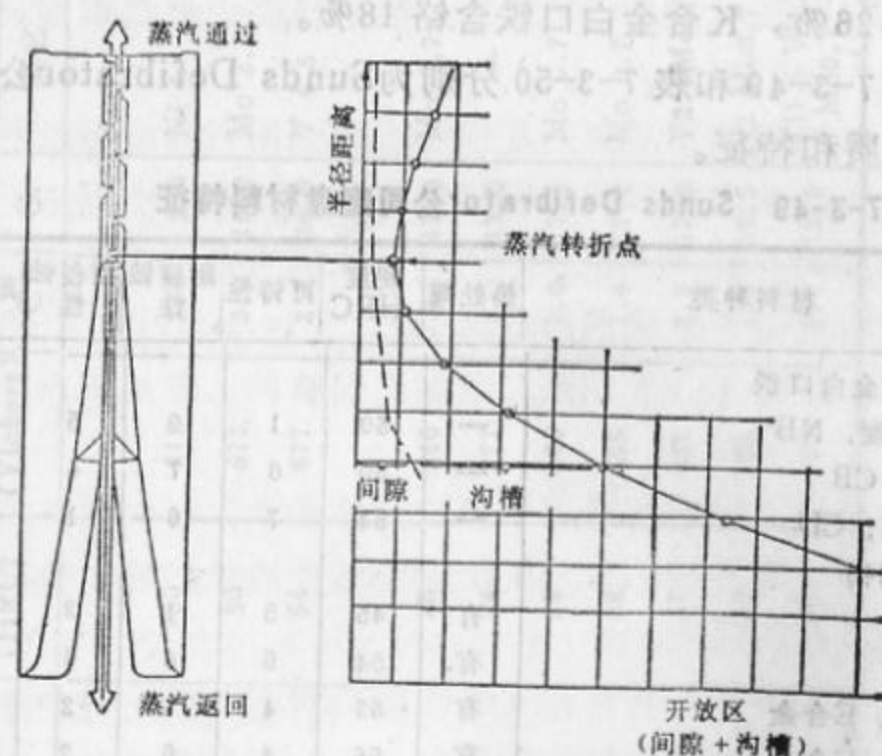


图 7-3-109 比容曲线

汽以和纤维流动方向相反的方向反喷。实际上，应使大部分蒸汽随纤维排出，以利均匀喂料，但反喷的蒸汽量难以控制。



磨盘有一定锥度。通常精磨区锥度小，过渡区锥度大，而两段或多段磨浆的磨盘锥度逐渐减小。如有的公司一段磨两磨浆区的锥度分别为 1:160 和 1:300；而二段磨两磨浆区的锥度为 1:100 和 1:300。

磨盘的平行度对成浆质量影响很大，一般圆周上的平行度偏差不得大于 0.05mm，否则纤维和蒸汽会从间隙大的地方逸出，使盘磨机产生振动，降低成浆质量。

## 2. 磨盘的材料

磨盘的材料决定它的使用寿命。目前用的最多的是镍铬冷硬铸铁，它是一种耐磨的镍铬白口铁。它成本低，耐磨性能好，但容易腐蚀，不锈钢磨盘耐腐蚀，但价格昂贵。

为了在使用寿命和单位成本之间取得折衷，Sprout-waldron 公司发展了两种高铬白口铁：Hi-C 和 K 合金磨盘：Hi-C 白口铁含铬 25~26%，K 合金白口铁含铬 18%。

表 7-3-49 和表 7-3-50 分别为Sunds Defibrator公司磨盘材料的性质和特征。

表 7-3-49 Sunds Defibrator公司磨盘材料特征

材料种类	热处理	硬度 HRC	可铸性	耐腐蚀性	耐侵蚀性	耐磨性	表面粗糙度
高合金白口铁							
Ni-硬, NB	—	50	1	9	5	5	1
铬, CB	—	50	6	7	4	5	3
高铬, CD	—	54	7	6	1	3	5
不锈钢							
SD	有	45	5	1	3	9	9
SR	有	54	5	6	3	5	5
SH, E合金	有	53	4	4	2	4	5
SK, E合金	有	55	4	6	2	3	5
SV	有	57	4	5	2	2	4
Tic-硬, TD	有	55	9	6	1	1	6
Tic-硬, TE	有	55	9	6	2	2	6

Sunds Defibrator公司磨盘材料的性质

表 7-3-50

材料种类	硬度 (HRC)	硬度 (Vickers)	成分(%)			种类	硬化、物理性质 硬度 (Vickers)	总容积(%)
			C	Cr	其它			
高合金白口铁								
Ni-硬, NB	50	513	3.0	2.0	Ni 5	M <sub>23</sub> C <sub>6</sub>	1400	40
铬, CB	50	513	3.0	15.0	Mo 2.7	M <sub>23</sub> C <sub>6</sub>	1650	25
高铬, CD	54	577	2.7	26.0	V 1.5	M <sub>23</sub> C <sub>6</sub> +M <sub>7</sub> C <sub>3</sub> +VC	1650+2100+2800	34
不锈钢								
SD	45	446	0.25	17.0	Mo 0.7	M <sub>23</sub> C <sub>6</sub>	1650	4
SR	54	577	1.0	13.0	—	M <sub>23</sub> C <sub>6</sub> +M <sub>7</sub> C <sub>3</sub>	1650+2100	13
SH, E合金	53	560	1.0	17.0	Mo 0.7	M <sub>23</sub> C <sub>6</sub>	1650	18
SK, E合金	55	595	1.5	17.0	Mo 0.7	M <sub>23</sub> C <sub>6</sub> +M <sub>7</sub> C <sub>3</sub>	1650+2100	20
SV	57	633	2.5	17.0	V 2.5 Mo 0.7	M <sub>7</sub> C <sub>3</sub> +VC	2100+2800	25
Tic-硬, TD	55	595	1.8	16.5	Ti 2 Mo 0.7	M <sub>7</sub> C <sub>3</sub> +TiC	2100+3200	26
Tic-硬, TE	55	595	1.7	16.0	Ti 1.5 W 1.0 Mo 0.7	M <sub>7</sub> C <sub>3</sub> +TiC	2500+3200	23



据称, Sprout-waldron 公司累计有齿型 1200 多种, 最近使用的有 350 种, 其中最常用的是 60~70 种。

## (六) 盘磨机的转子

转子是盘磨机的关键部分, 它包括主轴、磨盘和轴承。在电机和磨盘同轴安装的盘磨机内, 还包括电机。

设计转子时必须考虑盘磨机的动态特征和振动频率。

盘磨机的主轴是承载磨盘的, 还必须考虑启动时的瞬时扭矩。

磨盘以压配合固定在轴上, 以克服启动和运转时的扭矩。如果磨盘位于主轴的一端, 则采用锥形配合。启动盘磨机时轴的瞬时扭矩最大, 当加速到额定速度的 40~45% 时, 达到最大值, 最大扭矩可达正常运转时额定扭矩的 6~8 倍。

在高速旋转时产生很大的离心力, 使磨盘外圈向背面弯曲。增加磨盘厚度可减少这种变形, 但也提高了磨盘重量, 相应地就必须加大主轴直径。

磨盘的弯曲变形在一定程度上可采用带锥度磨盘的形式予以补偿。但磨盘的变形随盘磨机磨浆时负荷的大小而不同, 也就是说磨浆负荷大时须要较大的锥度, 这就带来一些困难, 因为盘磨机刚启动时都不能满负荷运转的。

三盘磨由于转盘夹在二定盘之间旋转, 因此不存在磨盘变形问题。

盘磨机主轴配有径向轴承和止推轴承。径向轴承用以承载转子的重量, 而止推轴承则抵消加压装置造成的轴向负荷和磨浆时产生的蒸汽的压力。

除三盘磨外, 其它型式的盘磨机都必须要有止推轴承, 在大多数情况下, 止推轴承都位于轴的外侧, 即远离磨盘一侧。这样比较灵活。因为在负荷作用下轴将延伸, 止推轴承装在靠近磨盘一侧时, 止推距离较短, 在负荷作用下反应较快。

采用通轴的单盘磨, 止推轴承装在轴的两端, 推力均匀地分

布在两个较小的止推轴承上。

盘磨机轴承一般的工作温度为 65~93℃, 要用低粘度油润滑。盘磨机对润滑的要求很高, 新型盘磨机有集中润滑系统。润滑油经冷却至 40~45℃ 后进入轴承。冷却过的润滑油不仅能提供保护油膜, 而且能将轴承内的热量带走。

为了防止润滑油中断供应而损坏轴承, 盘磨机的电机和润滑油系统联锁。有些盘磨机设有备用电池, 使电源故障时润滑油也不致中断。

## (七) 盘磨机的底座

盘磨机的转子是由固定在底座上的轴承支撑的。大多数底座是采用铸钢结构, 其刚度大, 以保证两磨盘的平行度。一般底座是一个整体, 而最近有的盘磨机将底座分成两半, 每一半底座装置一个轴承, 这主要是借以降低热变形对系统的影响。

Bauer 公司大型盘磨机采用钢梁结构, 以支撑两个转子。它对称于盘磨机的主轴, 这样就能均匀地挠曲, 从而保持两磨盘的平行。这种结构在一定程度上可补偿基础的变形, 可将热膨胀向各个方向移动, 从而减少不平行度。限制热膨胀会影响机械的平直度, 而且容易使轴断裂, 早期为了避免出现这种变形, 底座用水冷却。

## (八) 盘磨机的基础

盘磨机的基础如果设计不当将影响盘磨机的可靠性, 降低成浆质量。基础的作用是吸收机械的振动。可以用稳定型基础或吸收型基础来吸收机械的振动。

稳定型基础利用基础的挺度以降低某一振动力所造成的移动。而吸收型基础则是利用质量来减少振动所产生的移动。基础的质量愈大振动力所产生的移动愈小。通常, 基础的质量不小于它所承载的盘磨机质量的 1.5 倍。



有三种基础可用来安装盘磨机:

一是透平机式的基础。用单独的支架式平台将盘磨机的基础和建筑物的其余部分隔离。它采用阻尼法以降低震动的幅度。这一方法在透平发电机的应用中证明是好的。它是用一平板或钢筋混凝土置于两个或四个安在底岩上的柱子上。通常这方法用于大型的由电机通过联轴器传动的盘磨机。因为在这种情况下电机的对中非常重要。齿轮联轴器方式联接如果不对中将把推力传到电机上,造成电机轴承的损坏。

二是连续楼层基础。将盘磨机安装在厂房的楼面上,采用稳定式和吸收式来吸收振动。楼层和墙的质量以及楼层的刚度将保持振幅在允许的范围内。这方法曾用于同一楼层有多台盘磨机的系统中,通常这楼面厚 $0.6\sim 0.9\text{m}$ ,由钢筋混凝土制成。

在需要大量打桩的地方,连续楼层基础也许是最经济的,因为只是在厂房的墙和柱子的地方才需要打桩。

采用连续楼面基础时,要对厂房的共振作全面分析。使质量和刚度能很好地分布开来,从而保证盘磨机处于无振动状态。

当盘磨机安装在连续楼面基础上时,这楼面应和位于它楼下的浆池隔离开来。高温会使楼面膨胀,造成电机和盘磨机的不平行,电机装在主轴上的盘磨机,这问题较小。

三是采用惯性块基础,用绝缘体弹性安装,使盘磨机和厂房隔开。这种基础既不和厂房的其它部分刚性联接,也不安在底磨上。盘磨机是安装在由一大块混凝土制成的单独的基础上,用软隔振体或防振体与厂房的其它部分隔开。

基础的好坏取决于绝缘比,它是加在支撑点上的力与转动所产生的力之比。如果这个比率很小,如 $5\%$ ,那么厂房的振动力只是盘磨机处振动力的一小部分。然而要获得这么低的绝缘比,就得用几倍于转子重量的基础。

每一基础都力求解决动态对中和减少振动问题,在任何一种情况下都必须避免在盘磨机转速附近出现共振。

由盘磨机、电机和基础构成的动态系统中,共振的条件是设备的自然频率接近或等于设备的转动频率。在这种共振条件下,盘磨机中的不平衡力将引起剧烈的振动。

## (九) 盘磨机的传动

今天盘磨机的驱动电机越来越大。这主要是考虑由于经济上的原因。因为安装大型但数量较少的设备要节省投资和一些辅助设备的费用。

所有双盘磨的电机都是和盘磨机结合成一个整体的。驱动功率小于 $3675\text{kW}$ 的平盘磨也用这种结构。但大型单盘磨的电机则用齿轮联轴器和盘磨机联接。这样可以使用标准电机。然而这种情况不太现实,因为大型电机通常都是为某一用途而专门设计的,一般都没有自己的支架。

整体安装的电机使传动和盘磨机成为一个整体,不存在对中的问题。这就大大简化了基础的设计。

盘磨机将扭矩和推力吸收到盘磨机的机架内,电机和盘磨机结合成一个整体的盘磨机,电机已在制造厂预组装好,可以作为一台完整的设备装在厂房里,比较容易,而且由于它轴承较少,维护也比较简单。

盘磨机可用感应电机或同步电机传动。

小型盘磨机通常用感应电机驱动,因为它的用电量占全厂用电量的比例很小,因此对功率因数的校正意义不大,而且 $1800\text{r/min}$ 的感应电机比同步电机便宜。感应电机只有在满负荷下运行才有较高的效率,而在低负荷时效率和功率因数都大大降低。可以在电机或起动器上安装电容器,来修正功率因数,但功率因数不会超过 $97\%$ 。

同步电机则相反,在任何负载条件下效率都一样高。它可以设计出很高的功率因数,这样不仅保证盘磨机功率的有效利用,而且可改善整个工厂的功率因数。取决于工厂的配电系统,这意



味着可以大大降低运转费用。

## (十) 盘磨机磨盘间隙的调整

要获得质量均匀的浆料，必须精确地控制磨盘的间隙。这可以用机械或液压方式来实现。

机械加压系统是利用齿轮电机使两磨盘靠近，直至达到所要求的传动电流为止。这方法比较简单，间隙是固定的，而且，由于在满负荷下运行时，设备受热膨胀，因此在空载冷状态的机械零点并不表示运转状态的零位，我们经常可以记录到磨盘间隙为负值就是这个原因。现在机械加压系统已很少使用。

液压加压系统可用定位式或压力式来调整磨盘间隙。采用定位式加压时，在达到一定电流后将液压系统锁住，使磨盘定位，这样磨盘间隙和机械加压系统一样是固定的。

压力式液压加压系统，液压保持恒定，由于盘磨机外壳内的压力与两磨盘之间的磨浆压力有直接关系，因此能自动控制磨浆压力。这种加压系统能随通过量的微小变化而予以补偿，在输入功率保持一定时，能自动改变磨盘间隙。

图 7-3-110 为  $\phi 1270$  盘磨机所采用压力式间隙调整系统的示意图。

### 1. 压力的调节

借助于调整螺旋 1 的转动来调整固定磨盘 2 和旋转磨盘 3 之间的间隙  $a$ 。调整的结果在具有  $0.02\text{mm}$  间距刻度的光学放大仪上显示出来。调整螺旋转动时产生的轴向位移驱动一个导向阀 4 的阀芯。磨浆机电机一侧的轴承 6 设计成一个活塞，活塞缸就是这个轴承壳的滑座 7。这个缸室称为  $B_1$ ，与操作侧的缸室 B 相连通。B 和  $B_1$  两个缸室的油压面积之和为  $1170\text{cm}^2$ 。操作侧缸室 A 的油压面积为  $594\text{cm}^2$ 。缸室 A 和缸室  $(B+B_1)$  中的压力由导向阀调整。在压力油通入液压系统时，操作侧的油缸活塞 8、调整螺旋 1 和导向阀 4 的阀芯均轴向移动，直至导向阀阀芯达到中性

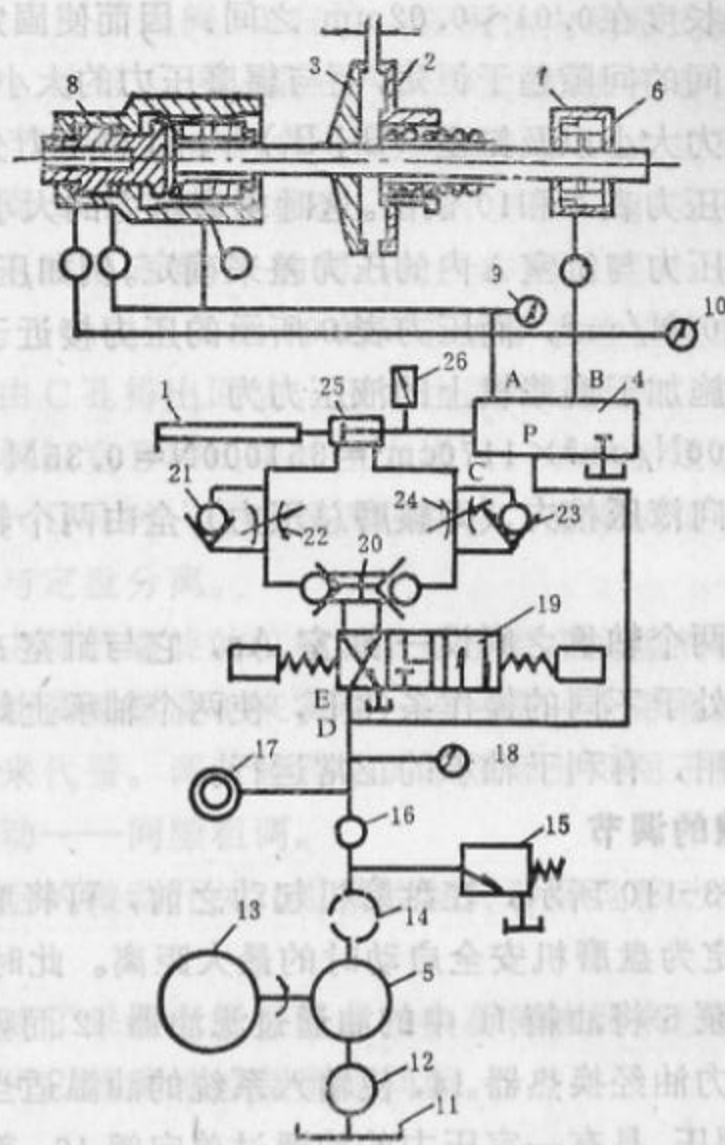


图 7-3-110  $\phi 1270$  木片磨浆机调整磨盘压力、间隙的液压系统

- 1—调整螺旋 2—固定磨盘 3—转动磨盘 4—导向阀 5—油泵 6—电机侧轴承 7—电机侧轴承壳滑座 8—操作侧活塞 9、10、18—压力表 11—油箱 12—滤油器 13—油泵电机 14—换热器 15—溢流阀 16、21、23—单向阀 17—蓄能器 19—电磁换向阀 20—组合止回节流阀 22、24—可调节流阀 25—调节装置 26—微动开关

位置，即缸室 A 内的液压力与缸室  $(B+B_1)$  内的总液压相等为止。当磨盘之间出现一个辗磨压力时，活塞 8 即发生移动，导向阀 4 的阀芯位置也随之变化而离开中性位置，使各缸室内的压力改变，直至缸室 A 和缸室  $(B+B_1)$  的压力达到新的平衡，而导向阀 4 的阀芯处于一个新的中性位置为止。但由于实际上导向阀



阀芯的行程长度在0.01~0.02mm之间,因而使固定磨盘2与旋转磨盘3之间的间隙趋于恒定,而与碾磨压力的大小和变化无关。缸室A的压力大小以及缸室(B+B<sub>1</sub>)内的总压力分别由安装在仪表盘上的压力表9和10读出。这时碾磨压力的大小由缸室(B+B<sub>1</sub>)内的总压力与缸室A内的压力差来确定。例如压力表10所示的压力为300N/cm<sup>2</sup>,而压力表9所示的压力接近于零(即大气压)时,则施加于磨浆机上的液压力为

$$300\text{N/cm}^2 \times 1170\text{cm}^2 = 351000\text{N} = 0.35\text{MN}$$

这样大的轴向液压推力(即碾磨总压力)全由两个轴承装置所吸收。

操作侧两个轴承之间设一缸室As,它与缸室A相通,目的在于磨浆机处于不同的操作条件下,使两个轴承上始终都保持有轴向力的作用,有利于轴承的正常运行。

## 2. 间隙的调节

如图7-3-110所示,在盘磨机起动之前,可将磨盘间隙a调至10mm,定为盘磨机安全启动时的最大距离。此时开动油泵电机13,则油泵5将油箱11中的油通过滤油器12而吸入。由油泵5排出的压力油经换热器14,使输入系统的油温适当。然后油经溢流阀15调压,具有一定压力的油通过单向阀16,部分压力油由蓄能器17储存,以保证在油泵停止操作时系统仍保持一定的压力。送入系统的压力油的压力由压力表18指示。压力油通过油管P-P而进入导向阀4。导向阀用的调整送入缸室A以及缸室(B+B<sub>1</sub>)中的压力平衡,磨浆机磨盘的间隙仍为预先调整好的10mm。当磨浆机主电机启动之后,动盘3开始高速转动,这时可以操作调节装置25,以控制导向阀阀芯的位置,从而达到调节间隙a的目的。

油压系统中,压力油除了通过油管P-P到达导向阀外,还通过油管P-E进入一个三位四通的电磁换向阀19。它的换向作用受微动开关26所控制。如图7-3-110中所示位置,压力油经换向阀

19而进入组合止回节流阀20右边,经阀体内的单向阀,再经系统中单向阀23,油管C-C,而进入调节装置油孔C,回油经油管D-D,可调节流阀22,组合止回节流阀20内左边单向阀(当组合止回节流阀20的阀芯左移时,阀内左边单向阀开启)、换向阀至油箱。当电磁换向阀19的阀芯处于中间位置时,压力油不进入C孔或D孔。当电磁换向阀19的阀芯处于右边位置时,则压力油通入D孔而由C孔排出回油。压力油通入C孔时,则导向阀阀芯左移,磨浆机缸室B和B<sub>1</sub>中的压力增大,动盘向定盘靠拢,反之,压力油通入D孔时,导向阀阀芯右移,磨浆机缸室A中的压力增大,动盘与定盘分离。

调节装置中调节螺旋的机械调节用于磨盘间隙的精密调节,一般是用手旋动调整螺旋1来实现,也可用一个带有遥控的磨盘间隙控制电机来代替。调节装置中的液压部分则用于磨浆机转动的轴向快速移动——间隙粗调。

导向阀4上的微动开关26用来控制转动磨盘移动的极限位或预定的位置。

最近又出现了采用电子探针或过负荷传感器来检测磨盘位置的突然变化,可以精确地控制磨盘间隙。

## 五、盘磨机械浆系统的热回收

盘磨机械法制浆的电耗很高,而所用的电大部分都在磨浆过程中以热能的形式散发出来,并产生蒸汽,因此有效地回收并充分利用这些蒸汽,关系到它们能否得到进一步发展的重要环节而为人们所关注。

### (一) 盘磨机系统的热平衡

一般认为输入到TMP/CTMP系统的磨浆能量大约90%都转换成蒸汽,这些蒸汽一部分用以在磨浆前预汽蒸和预热木片以及



加热稀释水, 其余大约60~70%的蒸汽可供回收。

可供回收的热可以从简单的热平衡中计算出来。

令:

$C_i$ : 以温度  $T_i$  进入盘磨机的物料浓度

$C_o$ : 以温度  $T_o$  从盘磨机排出的物料浓度

$T_i$ : 稀释水温度

$E_i$ : 电能消耗(kW·h/绝干浆t, 1 kW·h/绝干浆 t=3.6kJ/kg)

假定木质纤维的比热为 1.42kJ/(kg·℃) 则每公斤干纤维的盘磨机热平衡由下列成分组成:

① 进入的水热焓 (kJ) 的增加:

$$\left(\frac{1-C_i}{C_i}\right)(H_{w_o}-H_{w_i})$$

式中:

$H_{w_i}$  和  $H_{w_o}$  分别为进入和排出的水的温度为  $T_i$  和  $T_o$  时的热焓。

② 纤维热焓 (kJ) 的增加:

$$1.42(H_{w_o}-H_{w_i})$$

③ 未蒸发的稀释水热焓的增加:

$$\left(\frac{1-C_o}{C_o}-\frac{1-C_i}{C_i}\right)(H_{w_o}-H_{w_i})$$

式中:

$H_{w_i}$  为稀释水的热焓

这样, 传递到浆中的总热量为:

$$H_{w_o}\left[1.42+\left(\frac{1-C_o}{C_o}\right)\right]+H_{w_i}\left[1.42+\left(\frac{1-C_i}{C_i}\right)\right]+H_{w_i}\left[\left(\frac{1-C_o}{C_o}\right)-\left(\frac{1-C_i}{C_i}\right)\right]$$

这数值和输入盘磨机的电能  $E_i$  的热当量之差就代表总的可

回收的热  $Q_r$ :

$$Q_r=860E_i-H_{w_o}\left[1.42+\left(\frac{1-C_o}{C_o}\right)\right]+H_{w_i}\left[1.42+\left(\frac{1-C_i}{C_i}\right)\right]+H_{w_i}\left[\left(\frac{1-C_o}{C_o}\right)-\left(\frac{1-C_i}{C_i}\right)\right]$$

这  $Q_r$  包括木片预汽蒸和预热的热量以及加热稀释水所需的热量。

在图 7-3-111 所示的二段压力盘磨的 TMP 系统中, 可在三个地点收集盘磨机产生的蒸汽: 第一段喂料螺旋、第二段喂料螺旋和压力旋风分离器。图中标有各点蒸汽的比例。

各点的蒸汽量随各段盘磨所输入的能量比例以及磨盘使用时间的长短而不同。当磨盘磨损之后, 盘磨机反喷的蒸汽量加大, 这样将改变各点收集到的蒸汽的比例。

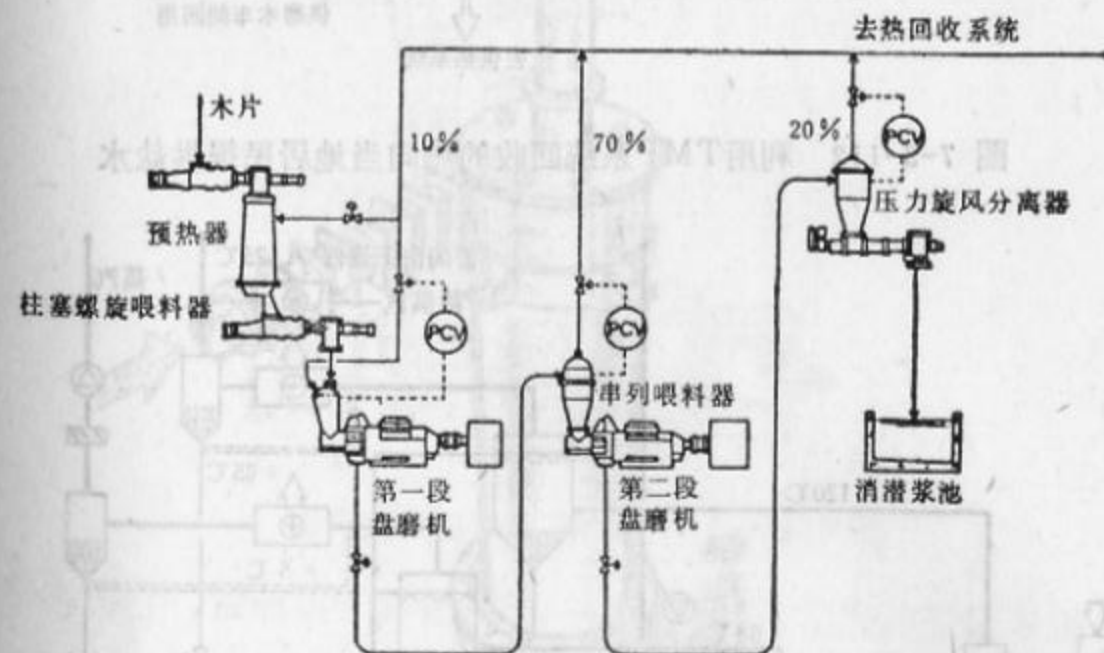


图 7-3-111 在两段磨力磨浆的 TMP 系统中各处蒸汽的分配比例

## (二) 热回收系统的发展

在盘磨机械浆发展的初期, 磨浆过程所产生的蒸汽是在常压旋风器中和浆料分离的。这蒸汽用来将水加热至 90℃, 主要用作



纸厂各处的喷淋水或在冬季用作室内的采暖。然而即使在冬季也只能利用所回收热水的一小部分，而夏季几乎没有什么用处了。所以有的纸厂利用 TMP 系统回收的热向当地居民提供生活用热水，其蒸汽回收系统如图7-3-112。

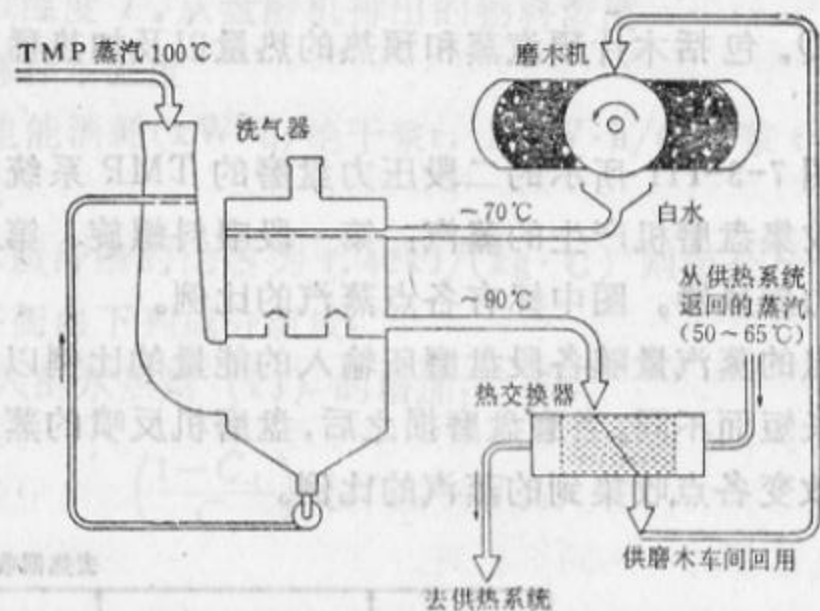


图 7-3-112 利用 TMP 系统回收的热向当地居民提供热水

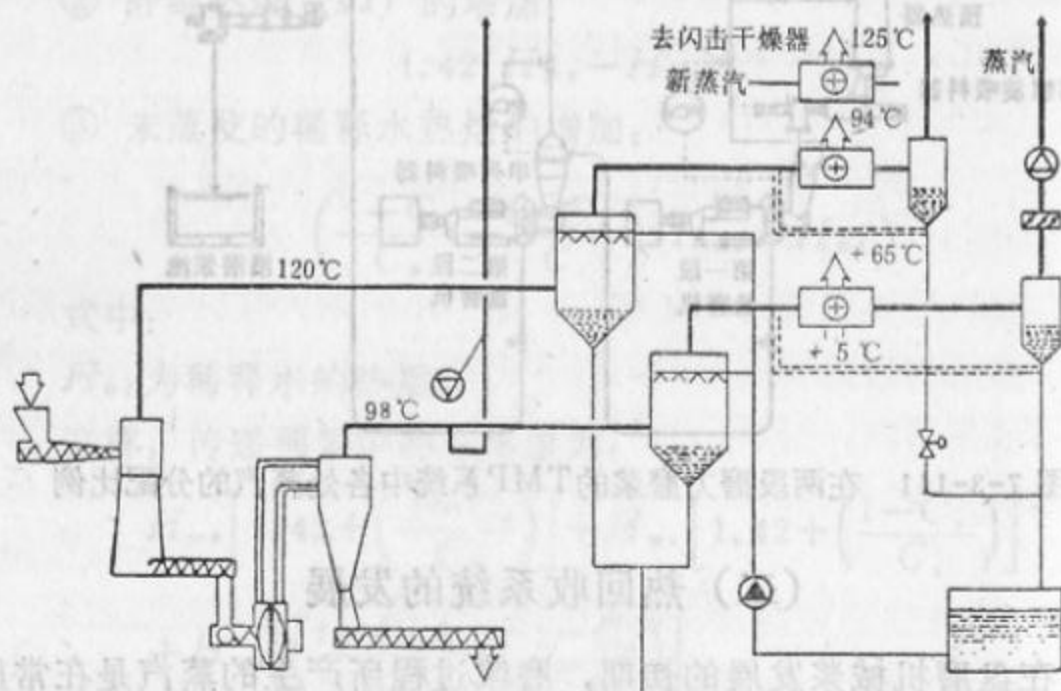


图 7-3-113 从 TMP 系统回收的蒸汽用以加热闪急干燥用的空气

向着更有效地回收利用 TMP 系统蒸汽的第一步是用来加热空气，以闪急干燥纸浆和预热锅炉的燃烧空气，如图7-3-113。从旋风分离器出来的大约  $98^{\circ}\text{C}$  的蒸汽将室外的空气从  $5^{\circ}\text{C}$  加热到  $65^{\circ}\text{C}$ ；而从木片预热器顶部逸出的蒸汽又将它进一步加热至  $94^{\circ}\text{C}$ ，然后再用新鲜蒸汽补充加热至  $125^{\circ}\text{C}$ 。

压力旋风器的出现标志着 TMP 系统能量回收的一个重要转折点，它有一汽密性排料口，因此可以获得和盘磨机工作压力同样压力的蒸汽。

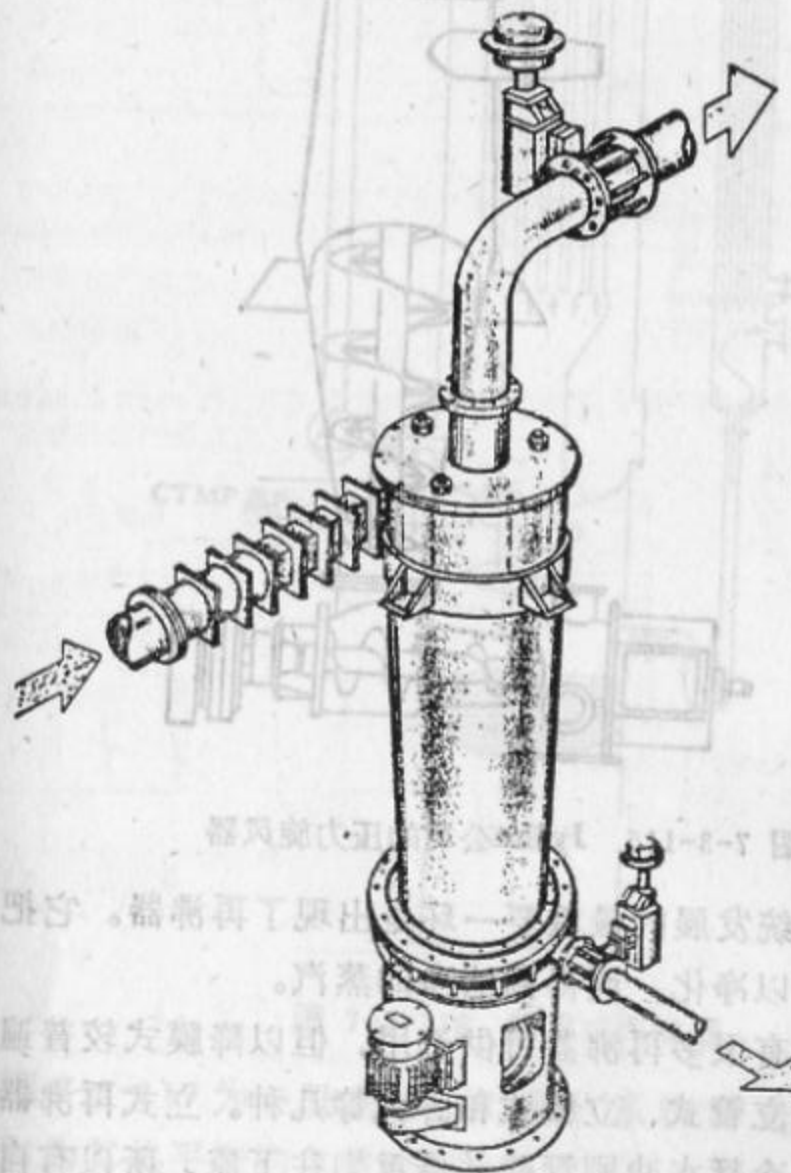


图 7-3-114 Sprout-Bauer 压力旋风器  
Sprout-Bauer 公司的压力旋风器见图 7-3-114。它的底部是

一个起密封作用刮板圆孔排料器，而 Jylha 公司则采用螺旋排料器密封。为了防止旋风器内堵浆，中间有立式螺旋往下推动浆料，如图 7-3-115 所示。

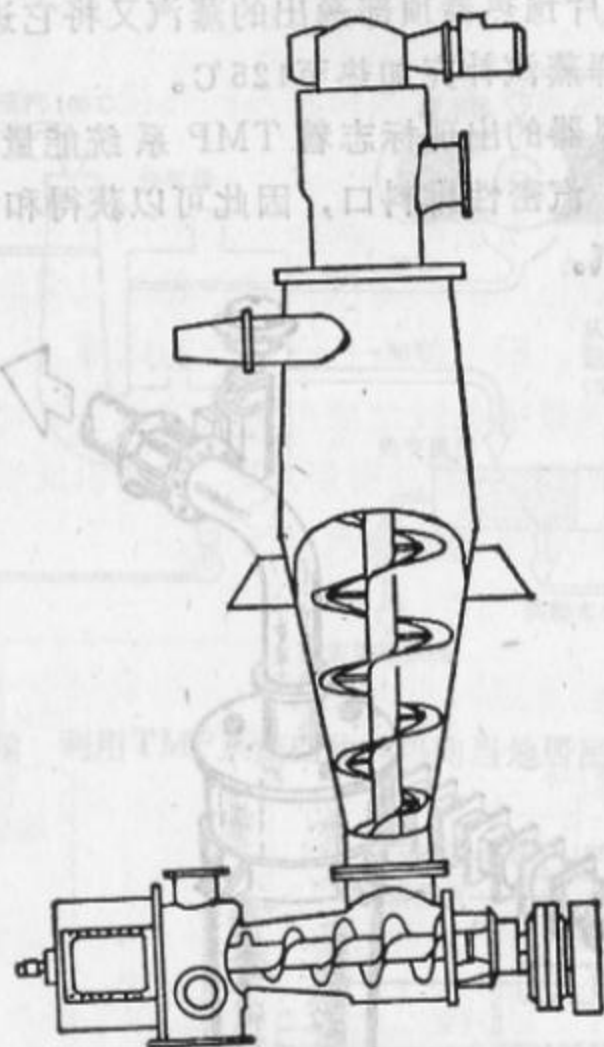


图 7-3-115 Jylha公司的压力旋风器

而热回收系统发展的最重要一环是出现了再沸器。它把夹带有纤维的蒸汽加以净化，而得到洁净的蒸汽。

目前市场上有很多再沸器可供选用，但以降膜式较普遍。降膜式再沸器又分立管式、立板式和卧式等几种。立式再沸器由于有 TMP 蒸汽的冷凝水冲刷管壁并借重力往下流，所以有自清洗作用，而且操作时温差小，故更受重视。图 7-3-116 为典型的降膜式再沸器。

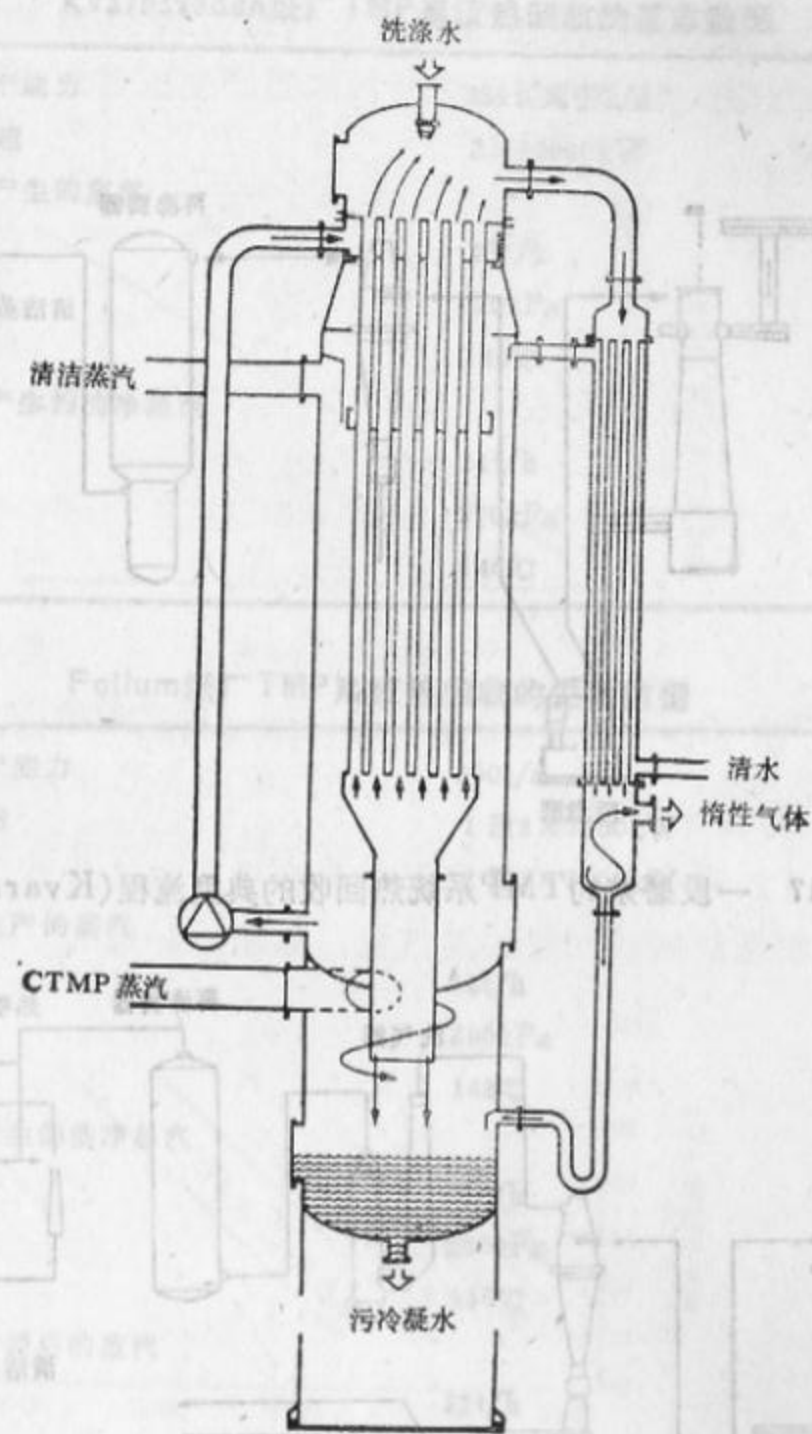


图 7-3-116 降膜式再沸器

图 7-3-117 为一段磨浆的 TMP 系统的蒸汽回收流程。表 7-3-51 为其热平衡的主要数据。

图 7-3-118 为典型的两段磨浆的 TMP 系统的蒸汽回收流程。表 7-3-52 为其热平衡的主要数据。



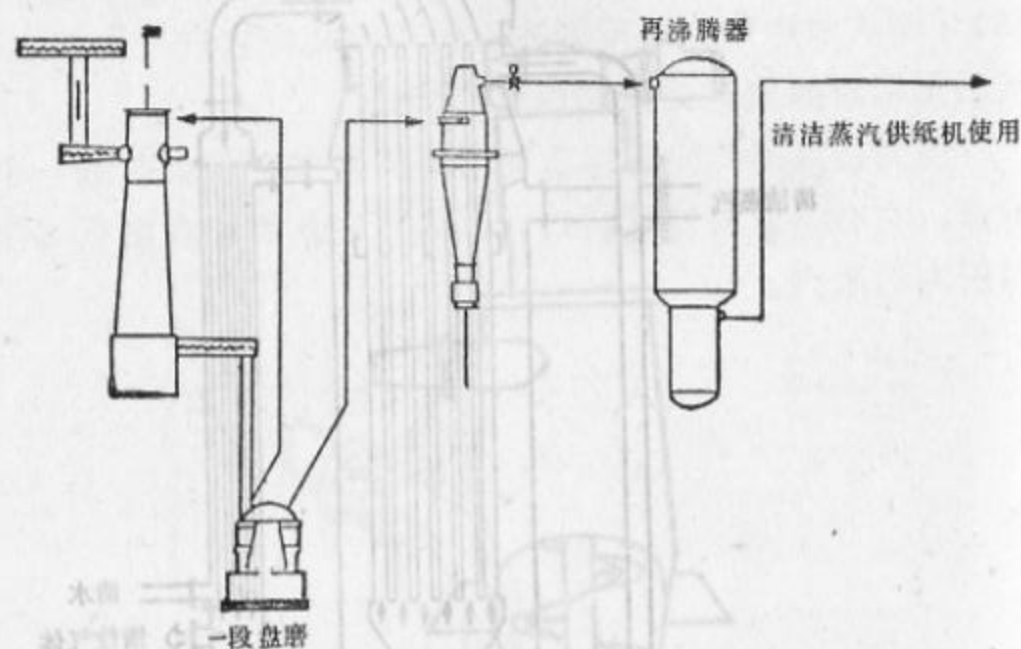


图 7-3-117 一段磨浆的TMP系统热回收的典型流程(Kvarnsveden厂)

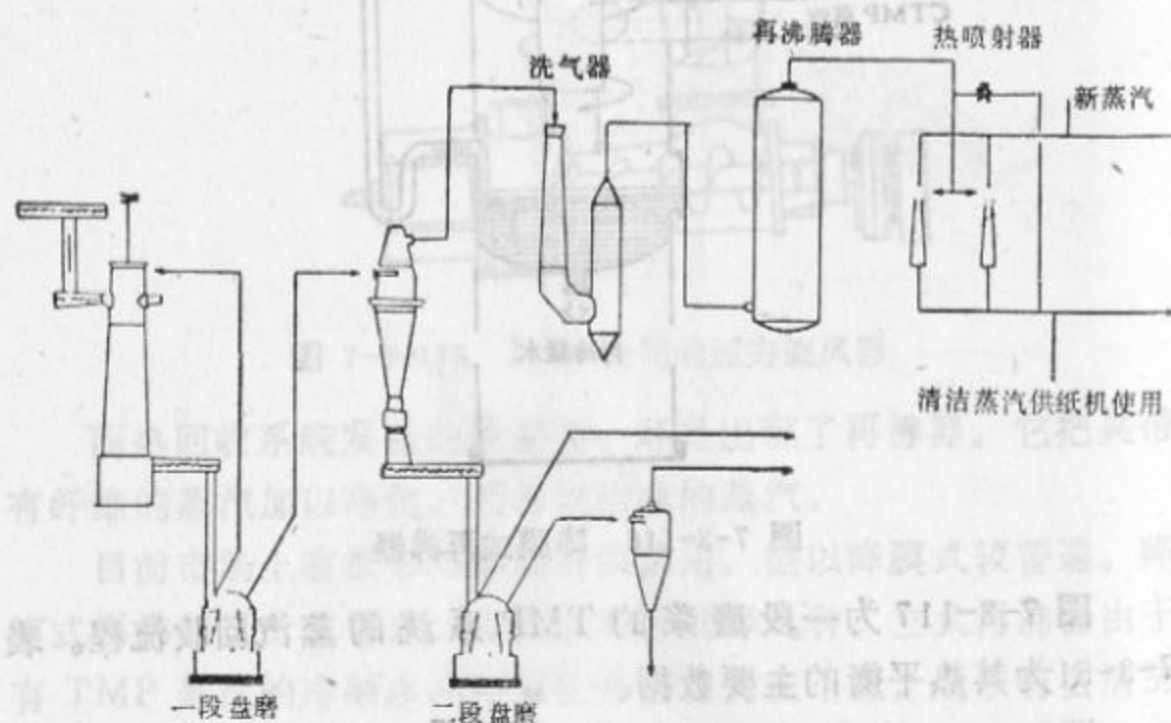


图 7-3-118 典型两段磨浆TMP系统热回收流程(芬兰Follum纸厂)

表 7-3-51 Kvarnsveden纸厂TMP系统热回收的基本数据

纸浆生产能力	335t(风干)/d
装机电能	2×13000kW
盘磨机产生的蒸汽	
流量	27t/h
压力	420kPa
温度	145℃
再沸器产生的洁净蒸汽	
流量	24t/h
压力	370kPa
温度	140℃

表 7-3-52 Follum纸厂TMP系统热回收的主要数据

纸浆生产能力	300t/d
装机电能	1段2×7500kW 2段1×7500kW
盘磨机生产的蒸汽	
流量	14t/h
压力	390kPa
温度	142℃
再沸器产生的洁净蒸汽	
流量	13t/h
压力	280kPa
温度	130℃
蒸汽喷射器后的蒸汽	
流量	22t/h
压力	450kPa
温度	147℃

### (三) 工艺参数对热回收的影响

#### 1. 磨浆电耗

输入盘磨机的电能变成回收蒸汽的总转换率约为75%。图7-3-119为输入盘磨机的电能与再沸器产生压力为288kPa蒸汽的数量关系。

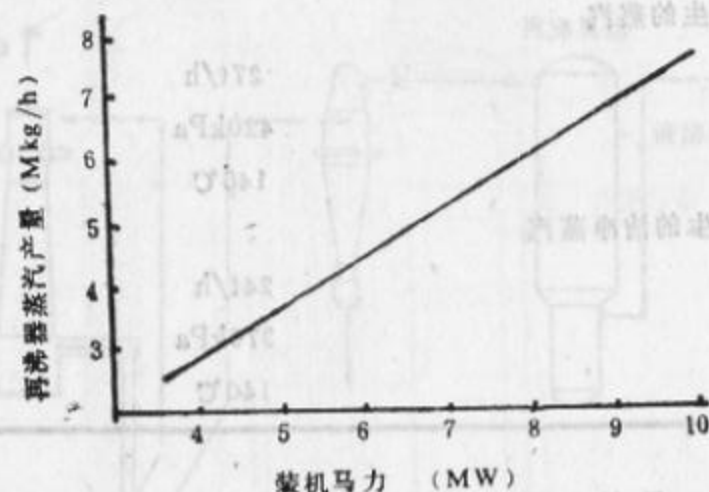


图 7-3-119 盘磨机装机电能对再沸器蒸汽产量的关系

## 2. 稀释水的温度

木片和稀释水的温度将影响盘磨机产生的蒸汽量，也就影响到热回收系统所能回收的蒸汽量，如图7-3-120。

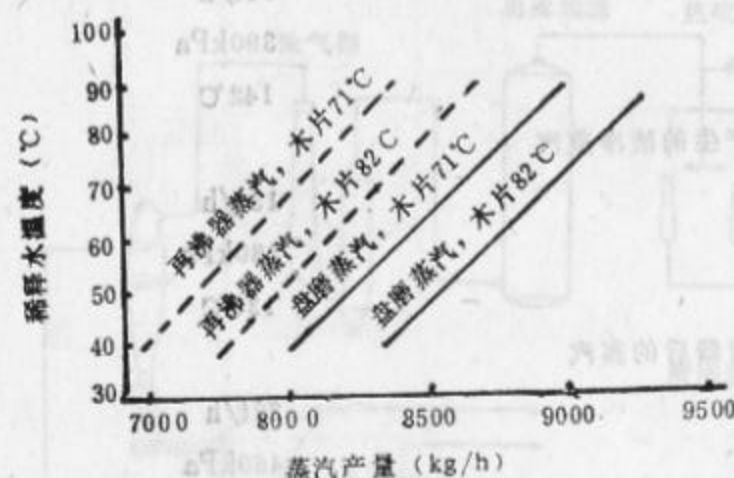


图 7-3-120 稀释水温度对盘磨机和再沸器蒸汽产量的关系

从图中可以看出木片温度降低11°C则回收的蒸汽量下降3.5%，而稀释水的温度降低10°C，回收的蒸汽量下降2%。

压力旋风器可能也需要喷淋水，其水温对热回收系统蒸汽的影响如图7-3-121。可以看出喷淋水的温度降低10°C，则回收的蒸

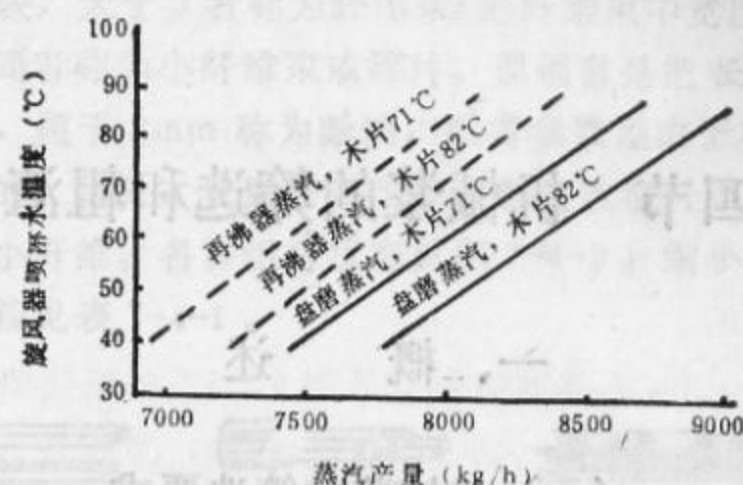


图 7-3-121 旋风器喷淋水的温度对盘磨机和再沸器蒸汽产量的关系

汽量下降2.5%。

## 3. 不冷凝气体含量

盘磨机磨浆时产生的蒸汽中不冷凝气体含量对热回收效率有一定影响，其含量取决于材种、木片水分以及TMP系统的设计和操作。系统中应设置排气口，排出一定量的尾气以免不冷凝气体体积聚。